

POTENCIALIDADES DA TERMOGRAFIA PARA O DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS ASSOCIADAS À HUMIDADE

GUSTAVO FILIPE PEREIRA DE OLIVEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Doutor João Manuel do Paço Quesado Delgado

JULHO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais,
à minha irmã
e à minha namorada

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, à minha irmã e à minha namorada, pelo apoio incondicional, incentivo, compreensão, carinho e pela ajuda e motivação nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira, pela disponibilidade total, por todo o apoio prestado, pelo incentivo, paciência, compreensão, dedicação e pela partilha de conhecimentos e sugestões.

À empresa M.T.Brandão, nomeadamente ao Doutor Paulo Macedo, pela cedência da câmara termográfica que permitiu a realização dos ensaios experimentais e pela confiança depositada.

Ao meu coorientador, Doutor João Manuel do Paço Quesado Delgado, pela disponibilidade e ajuda prestada.

À Engenheira Sara Freitas e ao Engenheiro Pedro Pereira, pela disponibilidade, partilha de informações e pelo apoio prestado para melhor compreensão dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Ao Professor António Júlio Vasconcelos, pela disponibilidade e pela partilha de informações e sugestões.

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/ECM/114189/2009.

RESUMO

Muitos dos problemas existentes em edifícios devem-se à presença da humidade, que provoca a degradação dos materiais de construção, comprometendo o seu desempenho no que se refere à durabilidade, resistência mecânica, estanquidade e aspeto. Pode também originar condições insalubres para os utilizadores e provocar problemas de saúde, principalmente a nível respiratório, resultantes do desenvolvimento biológico e da degradação dos materiais e componentes de construção.

As técnicas não destrutivas têm-se revelado úteis na deteção e caracterização de defeitos em materiais, de elementos construtivos e de soluções estruturais, sendo essenciais para a deteção e prevenção de manifestações patológicas. A grande maioria das patologias dos materiais e componentes estão associadas à variação da temperatura, pelo que a sua medição poderá constituir um importante auxílio para a compreensão dos fenómenos que estão na origem das anomalias.

A temperatura superficial dos materiais poderá ser determinada com recurso a equipamentos de termografia de infravermelhos. Os detetores de infravermelhos captam a radiação infravermelha emitida pelas superfícies, convertem-na em sinais elétricos e definem uma imagem térmica com a distribuição das temperaturas superficiais, correspondendo a cada cor um determinado intervalo de temperaturas. As variações de temperatura, por vezes observadas nas imagens térmicas, podem indicar uma anomalia na superfície analisada. Atualmente, a termografia de infravermelhos é reconhecida como uma técnica de grande utilidade para a inspeção de edifícios e execução de ensaios não destrutivos em elementos das construções.

Neste trabalho abordam-se os princípios fundamentais da termografia de infravermelhos, os seus procedimentos, os fatores que influenciam a medição da radiação infravermelha, as vantagens e desvantagens desta técnica e as suas diversas aplicações. Apresenta-se também um conjunto de estudos já desenvolvidos sobre as potencialidades da termografia aplicada ao diagnóstico de patologias relacionadas com as transferências de calor e com a humidade em edifícios.

Através de ensaios laboratoriais e *in situ*, avaliaram-se as potencialidades da termografia de infravermelhos para o diagnóstico de patologias associadas à humidade resultante da ascensão capilar, de infiltrações e da condensação superficial. Os resultados dos ensaios termográficos foram comparados com os resultados obtidos por um detetor de humidade, que permitiu avaliar qualitativamente o teor de humidade dos elementos construtivos em análise. A comparação entre as duas metodologias de ensaio mostrou que a termografia pode ser utilizada para o diagnóstico de patologias associadas à humidade. No entanto, são necessários alguns cuidados na interpretação dos resultados, já que a termografia também deteta variações de temperatura resultantes da existência de outras anomalias.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia de infravermelhos, deteção de humidade, ensaios *in situ*, ensaios laboratoriais, patologias.

ABSTRACT

Many of the existing problems with buildings are due to the presence of humidity, which causes construction materials to degrade, compromising their durability, mechanical resistance, permeability and appearance. It can also originate unhealthy conditions for the users, causing health problems, mainly at the respiratory level from the biological development and from the degradation of the construction materials and components.

Nondestructive techniques have proven useful in detecting and categorizing material defects, construction elements and structural solutions, being essential for the detection and prevention of pathological manifestations. Most of material and components pathologies are associated with temperature variations, for which its measurement can prove important for the comprehension of the phenomenon causing these anomalies.

Material's superficial temperature can be determined by using infrared thermography equipment. Infrared detectors capture the infrared radiation emanated by the surface, convert it into electric signals and generate a thermal image with the distribution of the surface's temperatures, each color corresponding to a temperature interval. Temperature variations, often observed in thermal images, can indicate an anomaly in the examined surface. Nowadays, infrared thermography is recognized as a technique of great utility for building inspection and nondestructive tests on construction elements.

This work explores the fundamental principles of infrared thermography, its procedures, factors that affect infrared radiation measurements, the advantages and disadvantages of this technique and its diverse applications. It also presents a series of studies already carried out regarding the potentials of thermography applied to the diagnosis of pathologies associated with heat transfer and humidity in buildings.

Through *in situ* laboratorial experiments, the potential of infrared thermography was evaluated for the diagnostic of pathologies associated with the humidity caused by capillary rise, infiltration and superficial condensation. The results of these thermographic tests were compared with the results obtained from a humidity detector, which allowed the assessment of the levels of humidity from the construction elements analyzed. The comparison between the two assessment methodologies showed that thermography can be used for the diagnostic of pathologies associated with humidity. However, some caution is necessary when interpreting the results since thermography also detects temperature variations caused by the existence of other anomalies.

KEYWORDS: infrared thermography, humidity detection, *in situ* experiments, laboratorial experiments, pathologies.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. NOTA INTRODUTÓRIA	1
1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE	5
2.1. NOTA INTRODUTÓRIA	5
2.2. HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO	5
2.3. HUMIDADE ASCENSIONAL	6
2.4. HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO	7
2.5. HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO	8
2.6. HUMIDADE DEVIDA A FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE	11
2.7. HUMIDADE DEVIDA A CAUSAS FORTUITAS	11
2.8. SÍNTESE	12
3. PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS SOBRE TERMOGRAFIA	13
3.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	13
3.2. TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS	19
3.3. TERMOGRAFIA APLICADA AOS EDIFÍCIOS	24
3.3.1. TERMOGRAFIA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS RELACIONADAS COM AS TRANSFERÊNCIAS DE CALOR	25
3.3.2. TERMOGRAFIA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS RELACIONADAS COM A HUMIDADE	27
3.4. SÍNTESE	28

4. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	31
4.1. CÂMARA TERMOGRÁFICA	31
4.1.1. CARATERÍSTICAS DO THERMO TRACER TH7800	31
4.1.2. COMPONENTES DO THERMO TRACER TH7800	34
4.1.3. PRINCÍPIOS OPERATIVOS DO THERMO TRACER TH7800	35
4.1.3.1. Descrição das principais funções	35
4.1.3.2. Relação entre a área captada pelo equipamento e a sua distância ao objeto a medir	35
4.1.3.3. Procedimentos a seguir durante a realização de uma medição	36
4.1.3.4. Modos de visualização	37
4.1.4. LEITURA DAS IMAGENS NUM COMPUTADOR PESSOAL ATRAVÉS DO PROGRAMA VIEWER NS9205	37
4.1.4.1. Caraterísticas gerais do programa Viewer NS9205	37
4.1.4.2. Funcionalidades do programa Viewer NS9205	38
4.2. DETETOR DE HUMIDADE	39
4.2.1. CARATERÍSTICAS DO DETETOR DE HUMIDADE TRAMEX LS	39
4.2.2. COMPONENTES DO DETETOR DE HUMIDADE TRAMEX LS	40
4.2.3. PROCEDIMENTOS A SEGUIR DURANTE E REALIZAÇÃO DE UMA MEDIÇÃO	41
5. ESTUDOS EXPERIMENTAIS REALIZADOS	43
5.1. NOTA INTRODUTÓRIA	43
5.2. HUMIDADE ASCENSIONAL	48
5.2.1. 1º CASO – GARAGEM DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR	48
5.2.1.1. Condições e procedimentos do ensaio	48
5.2.1.2. Medições e observações efetuadas	49
5.2.1.3. Apreciação dos resultados	51
5.2.2. 2º CASO – LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES DA FEUP	52
5.2.2.1. Condições e procedimentos do ensaio	52
5.2.2.2. Medições e observações efetuadas	54
5.2.2.3. Apreciação dos resultados	59
5.3. HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO (INFILTRAÇÕES)	60
5.3.1. 1º CASO – SALA B108 DA FEUP	60
5.3.1.1. Condições e procedimentos do ensaio	60
5.3.1.2. Medições e observações efetuadas	61
5.3.1.3. Apreciação dos resultados	64

5.3.2. 2º CASO – CAFETARIA DA FEUP	65
5.3.2.1. Condições e procedimentos do ensaio	65
5.3.2.2. Medições e observações efetuadas	66
5.3.2.3. Apreciação dos resultados	74
5.3.3. 3º CASO – QUARTO DE UMA HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR	75
5.3.3.1. Condições e procedimentos do ensaio	75
5.3.3.2. Medições e observações efetuadas	78
5.3.3.3. Apreciação dos resultados	85
5.4. HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO	87
5.4.1. CONDIÇÕES E PROCEDIMENTOS DO ENSAIO	87
5.4.2. MEDIÇÕES E OBSERVAÇÕES EFETUADAS	90
5.4.3. APRECIAÇÃO DOS RESULTADOS	95
5.5. SÍNTESE CRÍTICA	95

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	97
6.1. CONCLUSÕES FINAIS	97
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ANEXO A – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DOS EQUIPAMENTOS USADOS

ANEXO B – FOTOGRAFIAS, TERMOGRAMAS, TABELAS RELATIVAS AOS VALORES OBTIDOS PELO DETETOR DE HUMIDADE E RESPECTIVOS GRÁFICOS PARA O ESTUDO RELATIVO À HUMIDADE ASCENSIONAL

ANEXO C – FOTOGRAFIAS E RESPECTIVOS TERMOGRAMAS OBTIDOS PARA O ESTUDO RELATIVO À HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO (INFILTRAÇÕES)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Manifestação de humidade ascendente do terreno numa parede [6]	7
Figura 2.2 – Mancha de humidade de infiltração numa parede [7].....	8
Figura 2.3 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [1].....	9
Figura 2.4 – Ocorrência de condensações internas [4]	10
Figura 2.5 – Manchas de bolor num teto provocadas por condensações superficiais [13]	11
Figura 3.1 – Espectro eletromagnético [19]	14
Figura 3.2 – Radiação incidente (E_i), absorvida (E_a), refletida (E_p) e transmitida (E_t) (adaptada de [20])	14
Figura 3.3 – Emitância espectral do corpo negro (adaptada de [15]).....	16
Figura 3.4 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onda (adaptada de [23]).....	17
Figura 3.5 – Comparação da potência emissiva monocromática para superfícies negras, cinzentas ($\epsilon_g = 0,6$) e reais [14]	18
Figura 3.6 – Imagem visual e térmica da fachada exterior de uma casa [26]	19
Figura 3.7 – Exemplo de um termómetro pontual (a); um scanner de linha (b) e uma câmara termográfica (c) [29, 30, 31]	20
Figura 3.8 – Técnica de termografia passiva [36]	21
Figura 3.9 – Possibilidades de posicionamento da fonte de calor na termografia ativa: a) inspeção por reflexão; b) inspeção por transmissão [36]	21
Figura 3.10 – a) Termografia aplicada à ciência (detecção de cancro da mama); b) Termografia aplicada à indústria (visualização da temperatura de um disjuntor) [41, 42].....	23
Figura 3.11 – a) Termografia aplicada à segurança (identificação de alvos para fins militares); b) Termografia aplicada ao setor das energias renováveis (visualização das temperaturas dos elementos no interior da cabina de uma turbina eólica) [43, 44]	24
Figura 3.12 – a) Localização de perdas de calor em fachadas de edifícios; b) Identificação de zonas desprovidas de isolamento térmico [45].....	24
Figura 3.13 – a) Detecção de fugas de ar em janelas; b) Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos [45].....	25
Figura 4.1 – Componentes do Thermo Tracer TH7800 (adaptado de [60, 61])	34
Figura 4.2 – Área captada e resolução da imagem térmica em função da distância [58, 59].....	36
Figura 4.3 – Esquema de uma janela do programa Viewer NS9205 [62]	38
Figura 4.4 – Componentes do detetor de humidade Tramex LS.....	40
Figura 5.1 – Código de cores dos termogramas [66].....	44
Figura 5.2 – Exemplo de uma grelha marcada numa parede para as medições com o detetor de humidade.....	45

Figura 5.3 – Gráfico criado no Excel para os valores da tabela 5.3	47
Figura 5.4 – Eixo tridimensional (adaptado de [68]).....	47
Figura 5.5 – Gráfico da figura 5.3 trabalhado no Photoshop	48
Figura 5.6 – Grelha marcada na parede da garagem compreendendo toda a zona a analisar	49
Figura 5.7 – Parede enterrada de garagem - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 4”	50
Figura 5.8 – Parede enterrada de garagem - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.7	50
Figura 5.9 – Parede enterrada de garagem - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 3,5”	50
Figura 5.10 – Parede enterrada de garagem - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.9.....	51
Figura 5.11 – Parede enterrada de garagem - Fotografia e termograma	51
Figura 5.12 – Tina com o provete no seu interior e zona do provete analisada	52
Figura 5.13 – Posição da câmara termográfica para a obtenção dos termogramas ao longo de todo o ensaio	53
Figura 5.14 – Grelha marcada na zona central do provete de pedra calcária	53
Figura 5.15 – Variação da ascensão capilar visível no provete de pedra calcária	55
Figura 5.16 – Fotografia e termograma obtidos às 0 horas	55
Figura 5.17 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 4 obtido para as 0 horas	56
Figura 5.18 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 52 horas	56
Figura 5.19 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 4 obtido para as 52 horas	56
Figura 5.20 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 100 horas.....	57
Figura 5.21 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 100 horas	57
Figura 5.22 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 268 horas.....	57
Figura 5.23 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 268 horas	58
Figura 5.24 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 340 horas.....	58
Figura 5.25 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 340 horas	58
Figura 5.26 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 532 horas.....	59
Figura 5.27 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 532 horas	59

Figura 5.28 – Planta de uma parte do piso 1 do edifício B da FEUP com a indicação da parede analisada (adaptado de [71]).....	61
Figura 5.29 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 8”	61
Figura 5.30 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.29.....	62
Figura 5.31 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 7”	62
Figura 5.32 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.31.....	62
Figura 5.33 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 6”	63
Figura 5.34 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.33.....	63
Figura 5.35 – Sala B108 da FEUP - Fotografia e termograma (parte inferior da parede).....	63
Figura 5.36 – Sala B108 da FEUP - Fotografia e termograma (parte superior da parede).....	64
Figura 5.37 – Cobertura de parte do edifício B da FEUP	65
Figura 5.38 – Planta da cafeteria da FEUP com a indicação da zona analisada (adaptado de [71]) ...	65
Figura 5.39 – Divisão em três partes da zona que se pretende analisar na cafeteria da FEUP	66
Figura 5.40 – Grelha marcada em cada uma das partes que constituem a zona a analisar na cafeteria da FEUP	66
Figura 5.41 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 7”	67
Figura 5.42 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.41.....	67
Figura 5.43 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 6”	67
Figura 5.44 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.43.....	68
Figura 5.45 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 5”	68
Figura 5.46 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.45.....	68
Figura 5.47 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 4”	69
Figura 5.48 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.47.....	69
Figura 5.49 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 7”	69
Figura 5.50 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.49.....	70
Figura 5.51 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 6”	70
Figura 5.52 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.51.....	70
Figura 5.53 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 5”	70
Figura 5.54 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.53.....	71
Figura 5.55 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 4”	71
Figura 5.56 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.55.....	71
Figura 5.57 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 7”	72
Figura 5.58 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.57.....	72
Figura 5.59 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 6”	72

Figura 5.60 – Cafetaria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.59	72
Figura 5.61 – Cafetaria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 5”	73
Figura 5.62 – Cafetaria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.61	73
Figura 5.63 – Cafetaria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 4”	73
Figura 5.64 – Cafetaria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.63	73
Figura 5.65 – Cafetaria da FEUP - Fotografia e termograma (vista 1)	74
Figura 5.66 – Cafetaria da FEUP - Fotografia e termograma (vista 2)	74
Figura 5.67 – Cobertura da Cafetaria da FEUP	75
Figura 5.68 – Planta do apartamento com a indicação e designação das paredes analisadas	76
Figura 5.69 – Grelha marcada na parede A de uma habitação de um edifício multifamiliar	77
Figura 5.70 – Grelha marcada na parede B de uma habitação de um edifício multifamiliar	77
Figura 5.71 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 5”	78
Figura 5.72 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.71 ..	78
Figura 5.73 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 4”	79
Figura 5.74 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.73 ..	79
Figura 5.75 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 3”	79
Figura 5.76 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.75 ..	80
Figura 5.77 – Habitação em edifício multifamiliar - Termograma obtido para a parede A.....	80
Figura 5.78 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 8”	81
Figura 5.79 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.78 ..	81
Figura 5.80 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 7”	82
Figura 5.81 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.80 ..	82
Figura 5.82 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 6”	82
Figura 5.83 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.82 ..	83
Figura 5.84 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 5”	83
Figura 5.85 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.84 ..	83
Figura 5.86 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 4”	84
Figura 5.87 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.86 ..	84

Figura 5.88 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 3”	84
Figura 5.89 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.88...	85
Figura 5.90 – Habitação em edifício multifamiliar - Termograma obtido para a parede B	85
Figura 5.91 – Habitação em edifício multifamiliar - Degradação do revestimento na parede A.....	86
Figura 5.92 – Habitação em edifício multifamiliar - Degradação do revestimento na parede B.....	87
Figura 5.93 – Planta do piso 0 do edifício H da FEUP com a indicação da parede analisada (adaptado de [71])	88
Figura 5.94 – Posição da câmara termográfica para a obtenção dos termogramas ao longo de todo o ensaio	89
Figura 5.95 – Parede do LFC/FEUP - Grelha marcada delimitando a zona que se pretende analisar.	90
Figura 5.96 – Parede do LFC/FEUP - Momento em que se pulverizou com água a zona a analisar...	90
Figura 5.97 – Parede do LFC/FEUP - Fotografia da zona captada e termograma antes da molhagem.....	91
Figura 5.98 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos imediatamente após a molhagem e passados 15 minutos	91
Figura 5.99 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 30 e 45 minutos após a molhagem	91
Figura 5.100 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 1 e 2 horas após a molhagem.....	92
Figura 5.101 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 4 e 28 horas após a molhagem.....	92
Figura 5.102 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 124 e 244 horas após a molhagem.....	92
Figura 5.103 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 8”	93
Figura 5.104 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.103.....	93
Figura 5.105 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “2 horas após molhagem_Escala de sensibilidade de nível 8”	94
Figura 5.106 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.105.....	94
Figura 5.107 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “244 horas após molhagem_Escala de sensibilidade de nível 8”	94
Figura 5.108 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.107	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Caraterísticas do Thermo Tracer TH7800 [58, 59]	31
Tabela 4.2 – Designação e respetivas funções dos componentes do Thermo Tracer TH7800 [58, 59]	34
Tabela 4.3 – Descrição das funções mais relevantes do Thermo Tracer TH7800 [58]	35
Tabela 4.4 – Campo de visão da câmara de infravermelhos do equipamento Thermo Tracer TH7800 [58, 59]	36
Tabela 4.5 – Campo de visão da câmara visual do equipamento Thermo Tracer TH7800 [58, 59]	36
Tabela 4.6 – Designação e funções de cada uma das partes que constituem a janela representada na Figura 4.3 [62]	39
Tabela 4.7 – Caraterísticas do detetor de humidade Tramex LS [63]	40
Tabela 4.8 – Designação e funções dos componentes do detetor de humidade Tramex LS [63]	41
Tabela 5.1 – Representação da grelha apresentada na Figura 5.2	45
Tabela 5.2 – Cores atribuídas aos diferentes intervalos de valores obtidos pelo detetor de humidade	46
Tabela 5.3 – Tabela exemplificativa da formatação usada no Excel	46
Tabela 5.4 – Ascensão capilar visível durante a absorção por capilaridade do provete de pedra calcária	54

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- c_0 – velocidade da luz no vácuo = $2,998 \times 10^8$ [m/s]
 C_1 – primeira constante de radiação = $2 \times \pi \times h \times c_0^2 = 3,742 \times 10^8$ [W. $\mu\text{m}^4/\text{m}^2$]
 C_2 – segunda constante de radiação = $h \times c_0 / k = 1,439 \times 10^4$ [$\mu\text{m} \cdot \text{K}$]
 $E_b(T)$ – radiação total emitida pelo corpo negro [W/m^2]
 $E_g(T)$ – radiação total emitida por um corpo cinzento [W/m^2]
 E_i – radiação incidente
 $E_{\text{real}}(T)$ – radiação total emitida por uma qualquer superfície real [W/m^2]
 E_α – radiação absorvida
 $E_{\lambda,b}(\lambda, T)$ – emitância espectral de um corpo negro à temperatura absoluta T [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$]
 E_p – radiação refletida
 E_τ – radiação transmitida
 h – constante de Planck = $6,6256 \times 10^{-34}$ [J.s]
 k – constante de Boltzmann = $1,3805 \times 10^{-23}$ [J/K]
 q'' – fluxo de calor [W/m^2]
 R_{si} – resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]
 T – temperatura absoluta do corpo negro [K]
 U – coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 α – coeficiente de absorção de uma superfície
 ε – emissividade
 ε_g – emissividade de um corpo cinzento
 Θ_e – temperatura do ar exterior [$^\circ\text{C}$]
 Θ_i – temperatura do ar interior [$^\circ\text{C}$]
 Θ_{si} – temperatura superficial interior [$^\circ\text{C}$]
 λ – comprimento de onda [μm]
 ρ – coeficiente de reflexão de uma superfície
 σ – constante de Stefan-Boltzmann = $5,670 \times 10^{-8}$ [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]
 τ – coeficiente de transmissão de uma superfície

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

EPDM – Borracha de etileno propileno dieno monômero

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LFC – Laboratório de Física das Construções

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

REF CAL – Reflection calibration

TIV – Termografia de infravermelhos

1

INTRODUÇÃO

1.1. NOTA INTRODUTÓRIA

O problema da humidade nos edifícios tem suscitado desde sempre um grande interesse, uma vez que constitui uma das principais causas das patologias observadas em edifícios. A presença da humidade pode provocar a deterioração dos materiais de construção, comprometendo o seu desempenho no que se refere à durabilidade, resistência mecânica, estanquidade e aspeto. Pode também originar condições insalubres para os utilizadores e provocar problemas de saúde, principalmente a nível respiratório, resultantes do desenvolvimento biológico e da degradação dos materiais e componentes de construção. Contudo, a explicação científica para as diferentes formas de manifestação da humidade tem sido muitas vezes difícil, dada a complexidade dos fenómenos envolvidos.

A grande maioria das patologias dos materiais e componentes estão associadas à solicitação da temperatura, pelo que a sua medição poderá constituir um importante auxílio para a compreensão dos fenómenos que estão na origem das anomalias.

Uma das técnicas mais adequadas para precaver e detetar estas patologias é a termografia de infravermelhos, baseada no princípio de que todos os materiais possuem a capacidade de emitir energia sob a forma de calor, na zona de radiação infravermelha do espetro eletromagnético. Os detetores de infravermelhos captam a radiação infravermelha emitida pelos corpos, convertem-na em sinais elétricos e definem uma imagem térmica com a distribuição das temperaturas superficiais desses corpos, correspondendo a cada cor um determinado intervalo de temperaturas. As variações de temperatura, por vezes observadas nas imagens térmicas, podem indicar uma anomalia na superfície do corpo em estudo. Desta forma, a termografia de infravermelhos permite detetar a presença de humidade nos materiais, através das heterogeneidades térmicas devidas à existência de zonas húmidas, onde a evaporação é mais intensa ou as características térmicas dos materiais foram alteradas devido à presença da água.

As imagens térmicas, obtidas através dos ensaios termográficos, podem ser analisadas qualitativamente ou quantitativamente. A análise é qualitativa quando se pretende apenas visualizar as diferenças de temperatura nas superfícies dos objetos em estudo. Quando se pretende quantificar as variações de temperatura superficial do objeto em estudo, sendo necessária a introdução de parâmetros ambientais no equipamento de termografia, estamos perante uma análise quantitativa.

A termografia de infravermelhos é uma técnica não destrutiva que permite realizar medições em tempo real, sem que haja contato entre o equipamento e o objeto a medir, constituindo assim uma metodologia de diagnóstico potente, emergente e promissora.

1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO

A realização deste trabalho surge no contexto referido no § 1.1, pretendendo-se aumentar e desenvolver os conhecimentos sobre a termografia de infravermelhos, que, para além de ser uma técnica de grande utilidade, é também inovadora e encontra-se atualmente em expansão. Desta forma, estabeleceu-se como primeiro objetivo a aquisição de conceitos teóricos fundamentais relacionados com a termografia de infravermelhos, a aquisição das competências necessárias para aplicação desta técnica e a recolha bibliográfica de estudos já desenvolvidos, relacionados com a aplicação da termografia ao diagnóstico de patologias em edifícios relacionadas com as transferências de calor e com a humidade.

Outro dos objetivos deste trabalho passou por conhecer as diferentes formas de manifestação da humidade, as causas que as originam e as patologias associadas a cada uma.

Pretendeu-se também avaliar as potencialidades da termografia de infravermelhos enquanto técnica de diagnóstico de patologias associadas à humidade em elementos construtivos, através de ensaios laboratoriais e *in situ*, e comparar os resultados da termografia com os resultados de uma outra técnica de ensaio. Para tal, os resultados da termografia foram comparados com os resultados de um detetor de humidade.

O conhecimento dos princípios de funcionamento dos equipamentos usados, nomeadamente, da câmara termográfica e do detetor de humidade, foi fundamental para a realização deste trabalho. A compilação de informação sobre as características e componentes dos equipamentos, as suas principais funções, os procedimentos a seguir durante a realização de um ensaio e a forma como interpretar os resultados obtidos, constituiu também um dos objetivos deste trabalho.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos:

- No Capítulo 1 apresentam-se o enquadramento, os interesses, os objetivos e a organização do trabalho.
- No Capítulo 2 descrevem-se as diferentes formas de manifestação da humidade e as anomalias e causas associadas a cada uma.
- No Capítulo 3 referem-se os conceitos e as leis físicas que regem a termografia de infravermelhos, as diferentes abordagens dos procedimentos termográficos, os fatores que influenciam a medição da radiação infravermelha e as vantagens e limitações da termografia de infravermelhos. Apresentam-se ainda os principais campos de aplicação da termografia e um conjunto de estudos já desenvolvidos sobre as potencialidades da termografia aplicada ao diagnóstico de patologias relacionadas com as transferências de calor e com a humidade em edifícios.
- No Capítulo 4 resumem-se as principais características da câmara termográfica e do detetor de humidade utilizados na realização dos ensaios.
- No Capítulo 5, de carácter experimental, analisam-se três formas de manifestação da humidade, nomeadamente, a humidade ascensional, precipitação e condensação superficial, com o intuito de se avaliar as potencialidades da termografia de infravermelhos enquanto técnica de diagnóstico de patologias associadas à humidade. Os resultados da termografia são comparados com os resultados do detetor de humidade.

- No Capítulo 6 apresentam-se as conclusões do trabalho e algumas considerações relativas a trabalhos futuros.

São ainda apresentados três anexos:

- Informações complementares dos equipamentos utilizados;
- Fotografias, termogramas, tabelas relativas aos valores obtidos pelo detetor de humidade e respetivos gráficos para o estudo relativo à humidade ascensional;
- Fotografias e respetivos termogramas obtidos para o estudo relativo à humidade de precipitação (infiltrações).

2

FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE

2.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Os problemas associados à humidade são um assunto que sempre despertou grande interesse, visando sempre que possível a determinação das suas causas e procedimentos para os evitar ou reparar.

Num edifício, problemas como a degradação dos materiais de construção, quer a nível funcional, como por exemplo durabilidade, resistência mecânica e estanquidade, quer a nível estético, podem ser provocados e explicados pela presença de humidade.

É essencial conhecer-se a causa de uma humidade, para que seja possível estabelecer-se um correto e eficiente diagnóstico visando a sua reparação. Com o principal objetivo de facilitar a identificação e atribuição de causas às humidades, existem seis diferentes grupos de formas de manifestação da humidade, nomeadamente [1]:

- Humidade de construção;
- Humidade ascensional;
- Humidade de precipitação;
- Humidade de condensação;
- Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade devida a causas fortuitas.

Torna-se assim possível a partir da observação visual ou da realização de ensaios *in situ*, definir os sintomas apresentados pela manifestação e perceber que causa ou que causas poderão estar associadas. As causas acima citadas poderão não aparecer obrigatoriamente de forma isolada, podendo surgir manifestações de dois ou mais tipos de fenómenos associados, até porque uns podem ser consequência de outros.

2.2. HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO

Humidade devida à água utilizada no processo de execução dos elementos construtivos ou colocação dos materiais que os constituem. A água da chuva poderá também, de certa forma, dar o seu contributo, uma vez que aumenta ainda mais o teor de água dos materiais que estão sujeitos à sua ação direta [1, 2].

A evaporação de alguma desta água ocorre rapidamente, mas uma parte significativa demora bastante tempo para ser extraída dos materiais. O processo de secagem de materiais porosos divide-se em três fases distintas [1, 3]:

- Evaporação da água superficial dos materiais, que ocorre rapidamente;
- Evaporação da água existente nos poros de maiores dimensões dos materiais, mais demorada, uma vez que a maior quantidade de água se encontra no interior dos materiais, tendo assim que atravessar todos os poros, na sua forma líquida ou de vapor, até atingir a superfície;
- Evaporação da água existente nos poros de menores dimensões, que ocorre num ritmo extraordinariamente lento, podendo mesmo demorar vários anos.

Este tipo de humidade pode provocar anomalias como é o caso de expansões ou destaques de alguns materiais devido à evaporação da água neles existente; condensações devido à diminuição da temperatura superficial dos materiais, resultante do aumento da condutibilidade térmica dos materiais com o aumento do teor de água; e manchas de humidade devido à presença de materiais contendo um teor de água superior ao normal [1].

2.3. HUMIDADE ASCENSIONAL

Este tipo de humidade é provocado pela água do solo. Grande parte dos materiais usados na construção possui uma estrutura porosa que conduz a uma capilaridade elevada, possibilitando, na ausência de qualquer tipo de barreiras estanques, que a água possa migrar, por ascensão capilar [3]. Mas para que isto ocorra, é necessário que haja contato entre as paredes e a água do solo, o que acontece quando [1]:

- As fundações das paredes se encontram abaixo do nível freático;
- As fundações das paredes se encontram acima do nível freático em zonas de terreno com grande capilaridade, provocando a elevação da água existente a uma cota inferior;
- Paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, provocando o deslizamento das águas sobre o terreno, entrando assim em contato com as paredes.

A ascensão da água nas paredes varia com a porometria dos materiais que as constituem, uma vez que quanto menor for o diâmetro dos poros maior será a altura teórica que a água pode atingir; com as condições de evaporação, visto que a ascensão de água numa parede tende a estabilizar quando a quantidade de água evaporada iguala a quantidade de água absorvida do solo por capilaridade; com a espessura das paredes, isto é, considerando constantes as condições ambientais e para a mesma constituição das paredes, quanto mais espesso for o elemento construtivo maior será a altura atingida pela água; com a orientação, uma vez que as paredes voltadas para Norte são mais afetadas pela humidade ascensional do que as voltadas para Sul [1, 3, 4].

A degradação da tinta e dos revestimentos, e o aparecimento de manchas de humidade nas zonas inferiores das paredes, junto ao solo, apresentando frequentemente zonas corroídas na parte superior dessas mesmas manchas, e acompanhadas, em locais com fraca ventilação, pela formação de eflorescências ou cripto florescências e de manchas de bolor ou vegetação parasitária correspondem às manifestações mais frequente da humidade ascensional [1, 5, 6].

A Figura 2.1 exemplifica uma parede onde é perfeitamente visível a manifestação de humidade ascendente do terreno.



Figura 2.1 – Manifestação de humidade ascendente do terreno numa parede [6]

2.4. HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A humidade de precipitação é devida à água da chuva. Tendo em conta a trajetória vertical da chuva, percebe-se que esta não constitui uma ação de grande relevo para as paredes dos edifícios. O motivo de maior preocupação é quando o vento se junta à chuva, fazendo com que a sua trajetória se altere e se torne tanto mais horizontal quanto maior for a intensidade do vento.

Esta alteração de trajetória provoca um considerável aumento da incidência da chuva sobre as paredes dos edifícios, aumentando assim o risco de humedecimento dos elementos interiores e o decréscimo da resistência térmica dos materiais que as constituem.

As paredes devem ser concebidas para resistirem à penetração da água das chuvas, mas problemas tais como a existência de fissuração e deficiências de conceção, permitem que a chuva penetre nas paredes, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de anomalias. A localização e a orientação são aspetos importantíssimos a ter em atenção no estudo dos riscos de humedificação pela chuva incidente, para uma correta conceção das fachadas.

A ação da chuva pode originar diretamente ou indiretamente anomalias nas paredes. De uma forma indireta pode levar à ocorrência de condensações pelo simples facto de a incidência da chuva nos materiais provocar um aumento do seu teor de água, aumentando também a sua condutibilidade térmica. Posteriormente a secagem destes materiais provoca uma diminuição da sua temperatura superficial, que por sua vez aumenta a probabilidade do aparecimento de condensações. As anomalias diretamente associadas à ação da chuva são o aparecimento de bolores, a formação de eflorescências e cripto florescências, e o aparecimento de manchas de humidade que surgem na face interior das paredes exteriores, manifestando-se com a ocorrência de precipitação e com tendência a desaparecerem com o tempo seco [1, 2].

A Figura 2.2 apresenta um exemplo de uma parede onde é visível a presença de uma mancha de humidade de infiltração.



Figura 2.2 – Mancha de humidade de infiltração numa parede [7]

2.5. HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

Humidade relacionada com as propriedades dos materiais e com as condições higrotérmicas dos ambientes exteriores e interiores.

O ar apresenta na sua constituição não só gases mas também vapor de água, cuja quantidade deve ser controlada [1]. Sempre que, em determinadas condições, o ar contacta com superfícies mais frias e a sua quantidade de vapor de água atinge a quantidade máxima de vapor de água que pode conter para a temperatura em causa, ocorrerão condensações [1, 8].

A quantidade de vapor de água contida num espaço define-se como humidade absoluta e a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter designa-se por limite de saturação e é função da temperatura, uma vez que aumenta e diminui consoante a temperatura do ar aumenta e diminui, respetivamente. Através do quociente entre a humidade absoluta e o limite de saturação para uma dada temperatura, obtém-se a humidade relativa [9, 10].

A humidade relativa, humidade absoluta e a temperatura do ar podem ser relacionadas através de um diagrama psicométrico, como apresenta a Figura 2.3 [1].

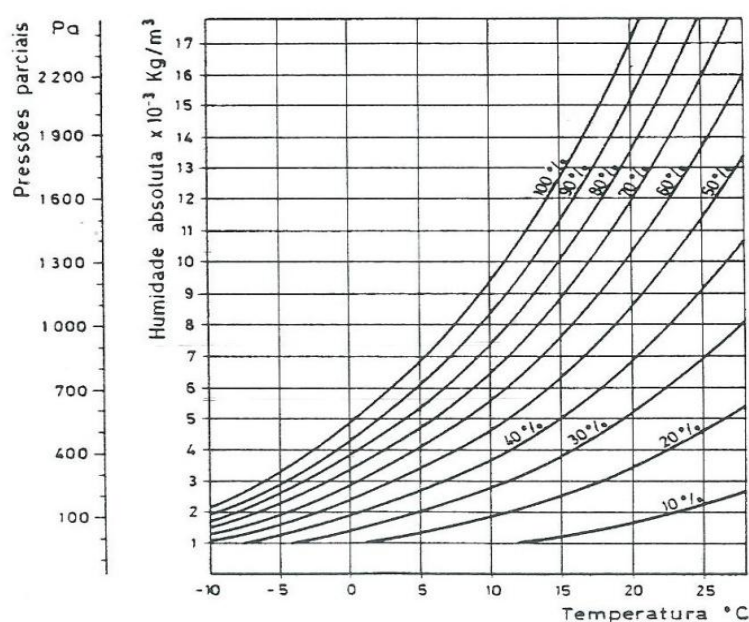


Figura 2.3 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [1]

Podem ocorrer dois tipos de condensações, as superficiais e as internas.

As condensações superficiais, tal como o nome indica, ocorrem na superfície dos elementos construtivos e são detetáveis pela observação direta, sendo as zonas onde o isolamento térmico é menor as pioneiras relativamente à sua manifestação [1]. Ocorrem quando a temperatura superficial interior dos elementos construtivos é inferior à temperatura de ponto de orvalho, isto é, à temperatura correspondente, para uma dada quantidade de vapor de água presente no ar, a 100% de humidade relativa [9].

A temperatura superficial interior pode ser determinada, recorrendo à seguinte equação [3]:

$$\Theta_s = \Theta_i - U * R_{si} * (\Theta_i - \Theta_e) \quad (2.1)$$

onde:

- Θ_{si} – temperatura superficial interior [°C];
- Θ_i – temperatura do ar interior [°C];
- U – coeficiente de transmissão térmica [W/m².°C];
- R_{si} – resistência térmica superficial interior [m².°C/W];
- Θ_e – temperatura do ar exterior [°C].

De uma forma geral existem três processos que podem ser postos em prática para evitar as condensações superficiais, nomeadamente [3]:

- Aumentar o isolamento térmico, provocando um aumento da temperatura superficial interior;
- Aumentar os caudais de ventilação, o que provocará uma redução da humidade relativa interior;

- Controlar a produção de água no interior.

A formação de manchas de bolor e o escoamento de água ao longo da superfície das paredes são anomalias provocadas por condensações [1, 11].

Por seu lado, as condensações internas ocorrem no interior dos elementos construtivos e não originam, na maioria dos casos, distúrbios visíveis. Ocorrem sempre que num dado ponto de um elemento de construção, a pressão parcial do vapor de água que atravessa o elemento por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse mesmo ponto [8, 12].

A pressão parcial do vapor de água pode ser definida como sendo a pressão que esse vapor teria, no caso de ocupar sozinho o volume ocupado pela respetiva massa de ar, e a pressão de saturação não é mais do que a pressão correspondente ao limite de saturação [8, 9].

O exemplo da Figura 2.4 permite uma melhor perceção sobre este fenómeno. Considera-se uma parede exterior munida na sua face exterior de uma camada impermeável ao vapor. Esta parede é sujeita a duas situações com condições ambientais diferentes, sendo que para a primeira situação as temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores são idênticas e na segunda situação as temperaturas interior e exterior são diferentes.

Na primeira situação, como as temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores são iguais, as pressões instaladas e as pressões de saturação interiores e exteriores também o serão, o que faz com que não haja ocorrência de condensações internas. Para a segunda situação, como as temperaturas interior e exterior são diferentes é então necessário determinar-se a curva de pressões de saturação em função da temperatura instalada e comparar com a reta de pressões instaladas, de forma a verificar a coincidência de pontos entre elas, e se tal acontecer então haverá ocorrência de condensações internas. Para que este fenómeno não ocorra é necessário que as pressões instaladas sejam inferiores às pressões de saturação [3, 4].

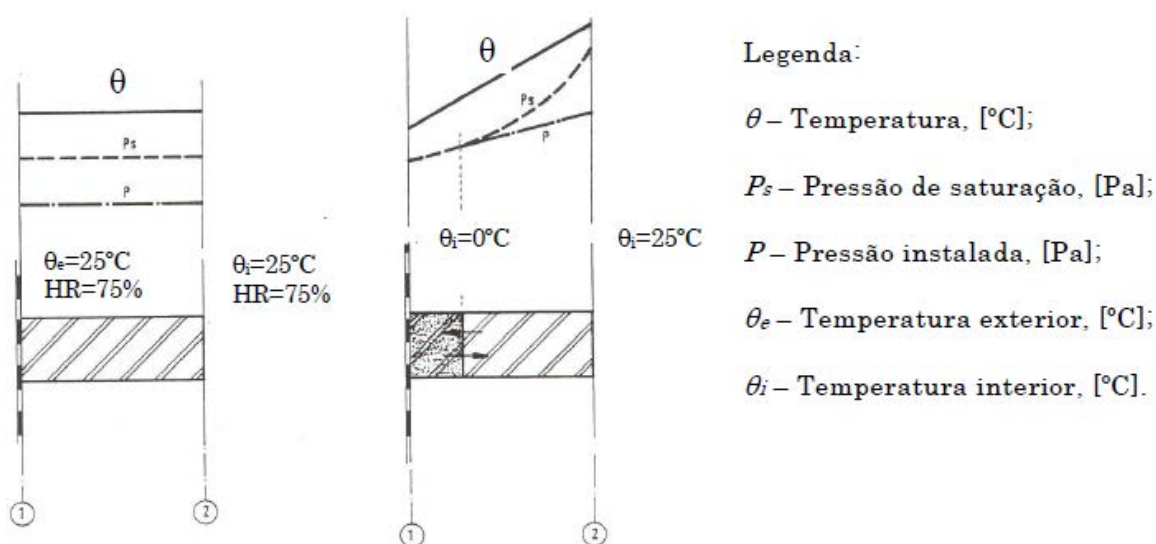


Figura 2.4 – Ocorrência de condensações internas [4]

As condensações internas podem ser influenciadas por dois fatores, nomeadamente [1]:

- Isolamento térmico, uma vez que condiciona as temperaturas interiores e as pressões de saturação ao longo do elemento construtivo;

- Permeabilidade ao vapor de água, visto que condiciona as variações da pressão parcial ao longo do elemento construtivo.

As condensações internas podem estar na origem da ocorrência de condensações superficiais, uma vez que os materiais constituintes do elemento construtivo ao absorverem a água condensada aumentam o seu teor de água, diminuindo assim a sua resistência térmica e consequentemente a do próprio elemento construtivo. Podem também danificar materiais orgânicos [1, 3].

A Figura 2.5 representa um teto onde são visíveis as manchas de bolor provocadas por condensações superficiais.



Figura 2.5 – Manchas de bolor num teto provocadas por condensações superficiais [13]

2.6. HUMIDADE DEVIDA A FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE

Muitos materiais utilizados na construção, têm na sua constituição sais solúveis em água. No caso de paredes concebidas com recurso a esses materiais serem sujeitas à humedificação, os sais dissolvidos migrarão com a água até atingirem as superfícies onde irão cristalizar sob a forma de eflorescências e cripto florescências. Alguns destes sais possuem a capacidade de absorver humidade do ar, sendo denominados de higroscópicos, e quando ocorrem sequências de ciclos de variação da humidade relativa, acima e abaixo de 65-75%, os sais dissolvem e cristalizam respetivamente, dando origem a processos de degradação.

Manchas de humidade em locais com grande concentração de sais e a degradação dos revestimentos das paredes são anomalias causadas por fenómenos de higroscopicidade [1, 2].

2.7. HUMIDADE DEVIDA A CAUSAS FORTUITAS

As humidades devidas a causas fortuitas são de natureza pontual e são normalmente associadas a defeitos de construção e falhas quer a nível dos equipamentos, quer a nível humano.

Entupimentos nos sistemas de drenagem de águas pluviais, nomeadamente ao nível das caleiras, algerozes ou tubos de queda podem estar na origem do aparecimento de humidades, assim como roturas de canalizações e uma incorreta realização dos remates das coberturas com as paredes [1, 2].

2.8. SÍNTESE

A palavra humidade é frequentemente associada a construções antigas onde a importância atribuída a este fenómeno era irrelevante e os procedimentos que deveriam ser usados para evitar a sua manifestação eram postos de lado. O problema é que este fenómeno continua a ocorrer em construções recentes e os seus efeitos são visíveis e desagradáveis.

Existem, por exemplo muitas habitações recentes com problemas de humidade e é extremamente importante perceber as suas causas para se pôr em prática procedimentos que reduzam as suas ocorrências. O aparecimento de anomalias devidas à humidade nas habitações, nem sempre é causado por problemas de construção, como por exemplo a falta de isolamento térmico ou a fraca qualidade do mesmo, uma vez que os próprios residentes também podem contribuir de forma negativa para este problema, através do excesso de vapor de água produzido e do insuficiente arejamento do interior da habitação.

Qualquer ser humano liberta uma quantidade de vapor de água que varia em função das condições ambientais e do tipo de atividade exercida. Considerando ainda a quantidade de vapor de água libertada pelas atividades domésticas, nomeadamente banhos e cozinhados, percebe-se que numa habitação a quantidade de vapor de água libertado num dia é significativa.

Numa habitação o excesso de vapor de água pode ser conduzido para o exterior através da renovação do ar interior ou por difusão através das paredes exteriores. Se tal não se verificar a probabilidade de ocorrerem condensações internas é considerável, que por sua vez podem provocar condensações superficiais como foi anteriormente referido.

Por esta razão, percebe-se que é imprescindível haver uma adequada ventilação dos espaços interiores de uma habitação, de forma automática ou pela abertura das janelas, de modo a que este excesso seja devidamente conduzido para o exterior, contribuindo assim de forma significativa para a redução do risco de ocorrência de humidades.

De uma forma geral é essencial conhecer-se os diferentes tipos de humidades que podem ocorrer e as anomalias associadas a cada um, para que assim seja possível identificar as causas e proceder-se aos respetivos tratamentos, o que nem sempre é fácil, uma vez que a uma determinada anomalia pode corresponder mais do que uma causa, o que dificulta a definição do tratamento a efetuar.

3

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS SOBRE TERMOGRAFIA

3.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

O calor é a energia térmica em transição e apenas os seus efeitos podem ser observados e medidos. A transferência de calor traduz a transmissão de energia entre dois sistemas, resultante de uma diferença de temperatura entre eles [14]. A transferência de calor é quantificada pelo fluxo de calor, que representa a quantidade de calor transferido por unidade de área, na unidade de tempo, medido em W/m^2 em unidades SI. Trata-se de uma grandeza vetorial com direção, sentido e intensidade, sendo o seu valor escalar representado por q'' [15].

A transferência de calor pode ocorrer de três modos distintos, nomeadamente, por condução, convecção e radiação [16]. A condução e a convecção exigem a presença de um meio material de propagação, ou seja, para que a condução ocorra é necessário que se verifique uma diferença de temperatura entre pontos vizinhos, enquanto para a convecção é necessário a existência de um fluido livre que ao movimentar-se transporte a energia. Por sua vez a radiação não necessita de um meio físico de propagação, sendo a energia transportada através de ondas eletromagnéticas [17].

O processo através do qual o calor é transferido de um corpo, em função da sua temperatura e sem qualquer intervenção de um meio físico, é designado de radiação térmica [14]. Todos os corpos com temperatura superior ao zero absoluto (0 K) emitem energia por radiação [15].

Quando um corpo sólido recebe energia, parte dos seus iões, átomos e moléculas ficam sujeitos a um estado de maior atividade devido ao aumento de energia. Porém, existe a tendência para voltarem espontaneamente a estados de energia menores. Quando tal sucede, a energia é emitida sob a forma de radiação eletromagnética [17].

As ondas eletromagnéticas movem-se a uma velocidade constante (no vácuo a velocidade de propagação é igual à velocidade da luz, isto é, aproximadamente 3×10^8 m/s) e o seu valor é igual ao produto da frequência pelo comprimento de onda da radiação [14]. Designa-se por frequência o número de vibrações por cada unidade de tempo e por comprimento de onda a distância compreendida entre dois máximos consecutivos da onda eletromagnética [18].

O espectro eletromagnético engloba um grande leque de comprimentos de onda que variam entre pequenos comprimentos de onda, como os raios gama, e grandes comprimentos de onda como, é o caso das ondas de rádio. À zona do espectro com comprimentos de onda aproximadamente entre 0,1 e 100 μm , corresponde a radiação térmica, que abrange parte da radiação ultravioleta e da radiação infravermelha e a radiação visível, como se pode observar na Figura 3.1 [14, 19].

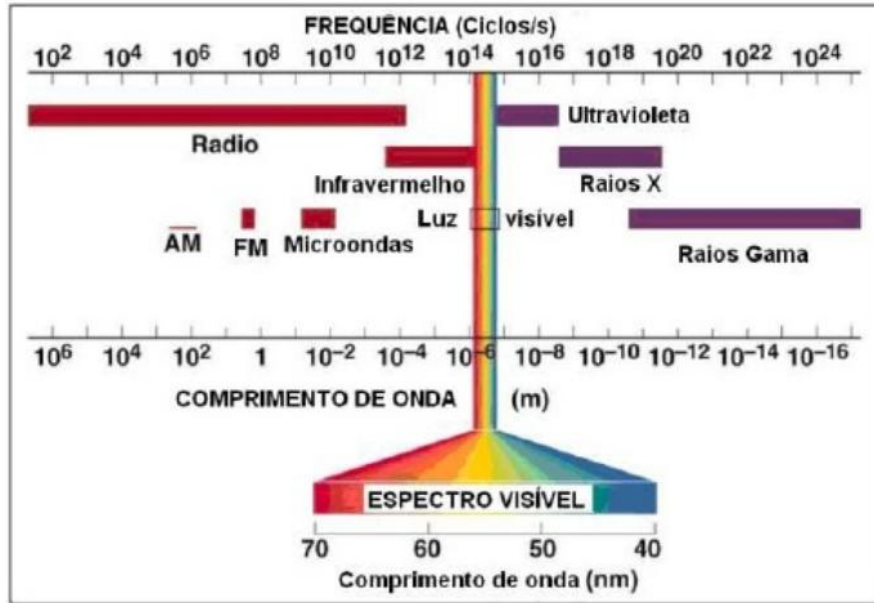


Figura 3.1 – Espectro eletromagnético [19]

Da radiação que incide sobre uma superfície, uma parte é absorvida, α , uma parte é refletida pela superfície, ρ , e a restante é transmitida, τ , como demonstra a Figura 3.2 [14, 20].

O coeficiente de absorção, α , de uma superfície corresponde à razão entre a radiação absorvida pelo corpo e a radiação total nele incidente. O coeficiente de reflexão, ρ , de uma superfície representa a razão entre a radiação refletida pelo corpo e a radiação total incidente nesse mesmo corpo. O coeficiente de transmissão, τ , de um corpo é a razão entre a radiação transmitida pelo corpo e a radiação total que nele incide [14, 16]. A lei da conservação da energia obriga que, para uma dada temperatura, a soma destas três parcelas deve ser igual à unidade (equação 3.1) [20, 21].

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3.1)$$

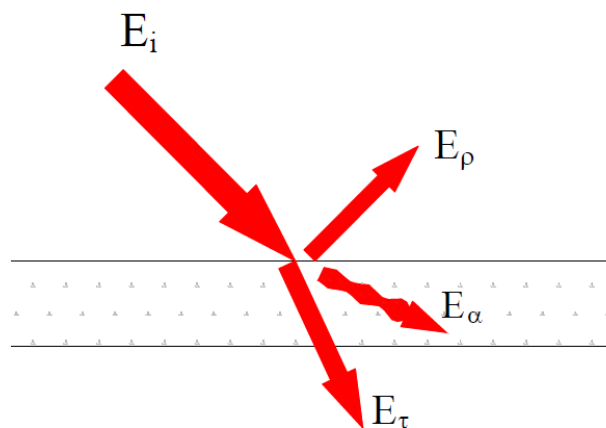


Figura 3.2 – Radiação incidente (E_i), absorvida (E_α), refletida (E_ρ) e transmitida (E_τ) (adaptada de [20])

As leis físicas que regem a transferência de energia por radiação são a lei de Planck, a lei do deslocamento de Wien e a lei de Stefan-Boltzmann, que foram estabelecidas para o corpo negro [15]. Corpo negro é um corpo que em equilíbrio térmico possui a capacidade de absorver e emitir toda a radiação nele incidente, independentemente da direção e do comprimento de onda. Num corpo negro tanto a reflexão como a transmissão são nulas. Para uma determinada temperatura e comprimento de onda, não existe nenhuma superfície capaz de emitir mais radiação do que um corpo negro, daí também ser designado por superfície ideal. É também um emissor difuso porque a radiação por si emitida é independente da direção. Na realidade o corpo negro não existe, trata-se apenas de um conceito teórico usado para limitar superiormente a emissão de radiação, uma vez que é considerado como um emissor perfeito.

A lei de Planck traduz a emitância espectral ou, por outras palavras, a quantidade de energia radiante emitida por um corpo negro, em função da sua temperatura e do comprimento de onda, através da seguinte fórmula [14, 15]:

$$E_{\lambda, b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right]} \quad (3.2)$$

onde:

- $E_{\lambda, b}(\lambda, T)$ – emitância espectral de um corpo negro à temperatura absoluta T [W/m².μm];
- C_1 – primeira constante de radiação = $2 \times \pi \times h \times c_0^2 = 3,742 \times 10^8$ [W.μm⁴/m²];
- C_2 – segunda constante de radiação = $h \times c_0 / k = 1,439 \times 10^4$ [μm.K];
- λ – comprimento de onda [μm];
- T – temperatura absoluta do corpo negro [K];
- h – constante de Planck = $6,6256 \times 10^{-34}$ [J.s];
- c_0 – velocidade da luz no vácuo = $2,998 \times 10^8$ [m/s];
- k – constante de Boltzmann = $1,3805 \times 10^{-23}$ [J/K].

O gráfico da Figura 3.3 representa a emitância espectral ($E_{\lambda, b}$) de um corpo negro para várias temperaturas em função do comprimento de onda [14]. Pela sua observação, é possível perceber que a emitância varia de forma contínua com o comprimento de onda e que com o aumento da temperatura aumenta também a emitância para um determinado comprimento de onda [15].

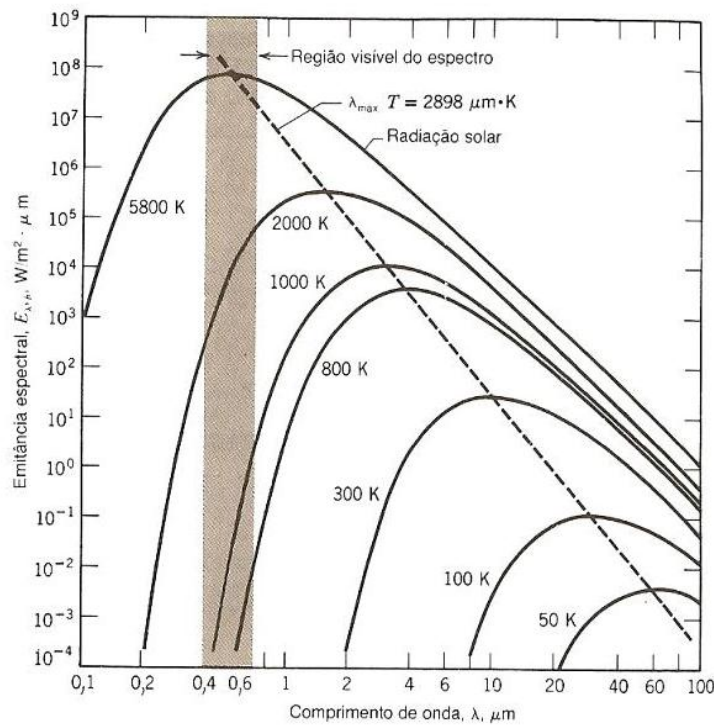


Figura 3.3 – Emitância espectral do corpo negro (adaptada de [15])

A linha a tracejado no gráfico da Figura 3.3, traduz a relação entre a temperatura absoluta do corpo negro e o comprimento de onda, $\lambda_{\text{máx}}$, para o qual a emitância espectral máxima ocorre. Os pontos representados nesta linha a tracejado são descritos pela lei do deslocamento de Wien. Esta lei pode ser obtida derivando a equação 3.2 em ordem a λ obtendo-se assim [14, 15]:

$$\lambda_m \times T = 2897,8 \mu m \cdot K \quad (3.3)$$

A emitância espectral máxima aumenta com o aumento da temperatura e com a diminuição do comprimento de onda. A radiança espectral máxima ocorre para a radiação solar, para uma temperatura de 5800 K e comprimento de onda na ordem dos 0,5 μm [7]. A área sombreada apresentada na Figura 3.3, compreendida entre 0,4 e 0,7 μm , diz respeito à faixa visível de comprimentos de onda, isto é, ao conjunto de valores de comprimentos de onda para o qual a radiação emitida é visível aos olhos dos humanos.

Finalmente a lei de Stefan-Boltzmann estabelece que a quantidade de calor transferido por radiação de um corpo negro, por unidade de área da sua superfície, na unidade de tempo, é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta, como demonstra a equação 3.4 [14].

$$Eb(T) = \sigma \times T^4 \quad (3.4)$$

onde:

- $E_b(T)$ – radiação total emitida pelo corpo negro [W/m^2];
- σ – constante de Stefan-Boltzmann = $5,670 \times 10^{-8}$ [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$];
- T – temperatura absoluta do corpo negro [K].

Como a lei de Stefan-Boltzmann resulta da integração da lei de Planck, no domínio $[\lambda=0; \lambda=\infty]$, a radiação total emitida por um corpo negro, $E_b(T)$, é apresentada pela área abaixo da curva de Planck para uma determinada temperatura [15, 21].

As três leis que regem a emissão de radiação, nomeadamente, a lei de Planck, a lei do deslocamento de Wien e a lei de Stefan-Boltzmann, dizem respeito a corpos negros. No entanto, a maioria das superfícies reais não se comportam como corpos negros, obrigando a adaptação destas leis para que seja possível caracterizar a radiação emitida por superfícies que não se comportem como corpos negros [14].

Como referido anteriormente, o conceito de corpo negro é meramente teórico, visto que na realidade todas as superfícies emitem menor quantidade de radiação que a emitida pelos corpos negros. Ainda assim, existem corpos, cujo comportamento se assemelha aos dos corpos negros, chamados de corpos cinzentos [22].

Um corpo cinzento, tal como um corpo negro, possui uma emissividade constante só que de valor inferior a um, ($\epsilon_g < 1$). Os corpos cinzentos possuem transmissão nula e valores de emissividades e coeficientes de absorção independentes do comprimento de onda [21]. Sendo, ϵ_g , uma fração constante da radiação total emitida por um corpo negro à temperatura absoluta T (E_b), a equação 3.5 traduz a radiação total emitida por um corpo cinzento para uma dada temperatura absoluta [14].

$$E_g(T) = \epsilon_g \times \sigma \times T^4 \quad (3.5)$$

As superfícies reais, tal como os corpos cinzentos emitem uma menor quantidade de radiação do que os corpos negros, mas, ao contrário, do que sucede com os corpos negros e cinzentos, para uma superfície real a emissividade, ϵ , pode assumir valores diferentes em função do comprimento de onda, como exemplifica a Figura 3.4 [14, 15]. A emissividade é o fator que caracteriza a energia emitida por um corpo real e pode ser definida como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura [21].



Figura 3.4 – Variação da emissividade espectral com o comprimento de onda (adaptada de [23])

A lei de Kirchhoff refere que, para qualquer material, a uma determinada temperatura e para um dado comprimento de onda, a emissividade e a absorção da sua superfície são iguais, isto é, $\alpha = \varepsilon$ [15, 24]. Assim sendo, a equação 3.1 relativa à lei da conservação da energia pode assim ser alterada para a equação 3.6.

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (3.6)$$

Grande parte dos materiais usados na construção de edifícios podem ser considerados corpos cinzentos. A Figura 3.5 compara a emissão espectral de superfícies reais, cinzentas e negras em função do comprimento de onda e para uma determinada temperatura absoluta. As curvas referentes ao corpo negro e cinzento apresentam a mesma forma porque os valores de emissividade são independentes do comprimento de onda. A curva correspondente à superfície real apresenta uma forma diferente das restantes porque os valores de emissividade podem variar com o comprimento de onda. As curvas referentes ao corpo cinzento e superfície real são inferiores à do corpo negro porque não existe nenhum corpo que emita maior quantidade de radiação do que um corpo negro [14].

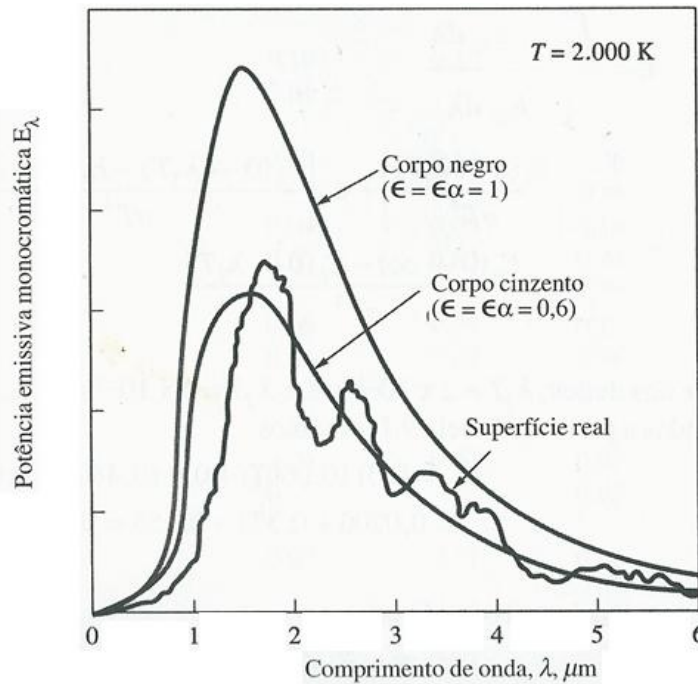


Figura 3.5 – Comparação da potência emissiva monocromática para superfícies negras, cinzentas ($\varepsilon_g = 0,6$) e reais [14]

A emissão espectral da superfície real e do corpo cinzento com uma emissividade, ε_g , de 0,6, diferem, para fins de análise, em pequenos detalhes. Mas, de uma forma geral, são o suficientemente parecidas, em média, para que seja possível considerar uma superfície real como aproximadamente cinzenta. Assim sendo, é possível determinar a radiação total emitida por uma qualquer superfície real para uma determinada temperatura absoluta, através da fórmula 3.7 [14].

$$E_{real}(T) \cong \varepsilon_g \times \sigma \times T^4 \quad (3.7)$$

3.2. TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS

A termografia de infravermelhos (TIV) é uma técnica não destrutiva utilizada para converter a radiação térmica emitida pela superfície de um objeto, que devido ao seu comprimento de onda é invisível ao olho humano, em imagens com a distribuição das temperaturas, com recurso a equipamentos apropriados, como demonstra a Figura 3.6 [23, 25].

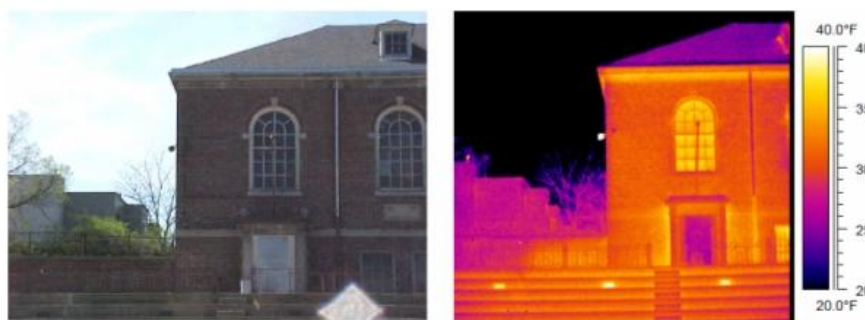


Figura 3.6 – Imagem visual e térmica da fachada exterior de uma casa [26]

A termografia de infravermelhos só pode ser aplicada nos casos em que se verifiquem as seguintes três condições [25]:

- O objeto ou superfície que se pretende analisar tem que apresentar uma temperatura diferente do meio em que se encontra inserido de forma a evidenciar a sua localização;
- Se na presença de um gradiente térmico, o objeto com as mesmas propriedades em toda a sua superfície apresentar oscilações de temperatura numa determinada zona, então estaremos eventualmente perante um defeito ou uma omissão do material;
- Na ausência das condições anteriores, pode ser aplicada uma fonte de calor ou de frio na proximidade da superfície do objeto com diferentes temperaturas, de modo a detetar anomalias ou defeitos.

A presença de defeitos a uma certa profundidade da superfície interfere com o fluxo de calor que a atravessa, provocando variações locais da temperatura superficial. A termografia de infravermelhos permite detetar estas variações de temperatura e, subsequentemente, a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas [27].

Os equipamentos de medição de temperatura por infravermelhos captam a radiação térmica emitida pela superfície do objeto em estudo e convertem-na em sinais elétricos, sem que se estabeleça qualquer contato entre a superfície a analisar e o equipamento [25, 28].

Existem três tipos de sistemas para medição de temperatura por infravermelhos, nomeadamente, os termómetros pontuais (Figura 3.7a) que apenas indicam a temperatura de um ponto na superfície, os scanners de linha (Figura 3.7b) que permitem obter um perfil de temperatura ao longo de uma linha na superfície e as câmaras termográficas (Figura 3.7c) que captam e convertem a radiação infravermelha emitida por uma superfície, transformando-a numa imagem a duas dimensões representativa da temperatura a que se encontra a superfície [25].

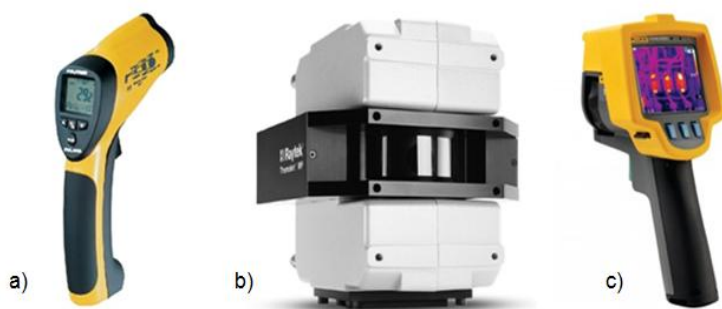


Figura 3.7 – Exemplo de um termómetro pontual (a); um scanner de linha (b) e uma câmara termográfica (c)
[29, 30, 31]

As câmaras termográficas são capazes de detetar variações de temperatura numa superfície, que podem ser analisadas qualitativamente ou quantitativamente. A análise qualitativa é a mais simples e deve ser usada sempre que uma abordagem mais superficial do problema for suficiente, como é o caso de deteção de fugas de água em tubagens ou defeitos no isolamento. A observação dos termogramas efetuados, sem grandes pormenores de medição, permite avaliar a superfície em estudo. Dada a sua simplicidade, muitas vezes as imagens térmicas obtidas deste tipo de análise são interpretadas no próprio local por um técnico qualificado.

Por sua vez, a análise quantitativa é mais complexa, visto que as temperaturas superficiais do objeto a medir são determinadas recorrendo aos termogramas e a parâmetros analíticos. Esta abordagem exige condições de ensaio mais rígidas e o levantamento de todos os dados processa-se de uma forma bastante rigorosa, tratando-se assim de uma técnica mais eficaz quando comparada à qualitativa. Os resultados obtidos não são analisados no local, são gravados e anotam-se todos os parâmetros considerados importantes, como a temperatura ambiente, a humidade, a emissividade e a distância entre o equipamento e o objeto a medir, que posteriormente serão inseridos para processamento num software de análise específico, interpretando-se de seguida os resultados daí obtidos.

O facto de a análise quantitativa ser mais rigorosa, morosa e dispendiosa explica que, na aplicação da termografia ao diagnóstico de edifícios, seja sobretudo adotada uma abordagem qualitativa, que está mais divulgada na literatura quer tecnológica quer científica [32, 33].

Os ensaios termográficos podem ser realizados de maneiras diferentes, ou seja, com ou sem a presença de um estímulo térmico, dividindo-se assim em duas categorias, a ativa e a passiva, respetivamente.

A termografia passiva caracteriza-se pela não estimulação térmica artificial do objeto em estudo, devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto a analisar e o meio no qual está inserido (Figura 3.8), apresentando o objeto uma temperatura normalmente superior à temperatura ambiente. A radiação solar é considerada como fonte natural. A principal vantagem desta categoria é que o único equipamento necessário é a câmara de infravermelhos [32, 34, 35].

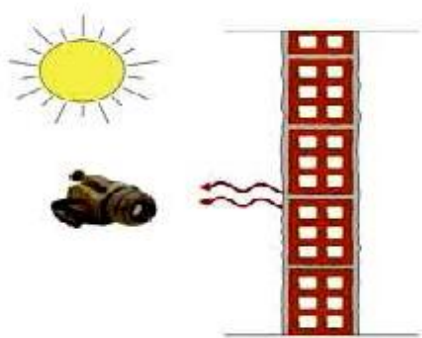


Figura 3.8 – Técnica de termografia passiva [36]

Na termografia ativa, é necessário um estímulo externo para gerar diferenças relevantes de temperatura entre o objeto a medir e o meio no qual está inserido. O objeto em estudo pode ser energeticamente estimulado através de fontes térmicas artificiais mais simples (lâmpadas, flashes, jatos de ar quente) ou mais sofisticadas (pulsos ultrassónicos, radiação infravermelha, micro-ondas, laser). A fonte de calor pode estar localizada do mesmo lado da câmara de infravermelhos, correspondendo a uma inspeção por reflexão (Figura 3.9a) ou localizada do lado oposto ao equipamento, estabelecendo-se assim um fluxo térmico por transmissão, como se pode observar na Figura 3.9b. Normalmente o método de reflexão é usado para determinar discontinuidades na própria superfície aquecida, enquanto a transmissão é usada na deteção de discontinuidades na superfície oposta à aquecida. Esta técnica é geralmente aplicada nos casos em que se desejam resultados quantitativos [32, 34, 35].

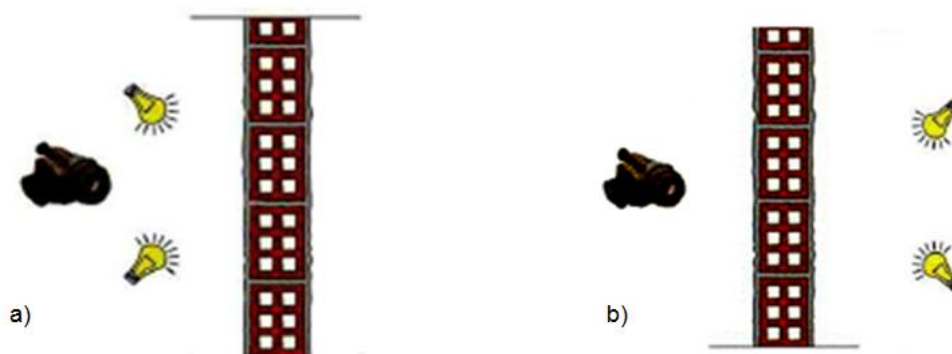


Figura 3.9 – Possibilidades de posicionamento da fonte de calor na termografia ativa: a) inspeção por reflexão; b) inspeção por transmissão [36]

Apesar da simplicidade aparente da termografia de infravermelhos, existem certos erros que podem influenciar consideravelmente os resultados obtidos, dificultando a sua interpretação e podendo mesmo conduzir a conclusões erradas, se não forem tomadas determinadas precauções antes e durante a realização dos ensaios. Os erros mais significativos são os relacionados com a emissividade dos materiais e a reflexão e absorção da energia. Esta técnica pode ainda ser condicionada por outros fatores, como por exemplo, as variações térmicas da amostra e as interferências ambientais.

Os erros de emissividade estão associados ao desconhecimento do valor exato da emissividade da superfície a analisar e ao facto de a emissividade depender de diversos fatores, como o comprimento de onda, a temperatura, o acabamento da superfície dos materiais e o ângulo de observação. Se se pretender uma avaliação quantitativa dos resultados, os valores da emissividade devem ser determinados com precisão, mas se a avaliação for qualitativa, os valores da emissividade não terão grande importância [37, 38].

O coeficiente de reflexão dos materiais pode causar alguns problemas na medição da radiação infravermelha, uma vez que, a radiação captada por uma câmara termográfica é igual à soma da radiação refletida com a radiação emitida, o que constitui um problema visto que as câmaras termográficas não distinguem as duas radiações [37, 38, 39].

No balanço energético entre o corpo e o meio ambiente, há três tipos de cenários possíveis de ocorrer [37]:

- Corpo quente e meio ambiente frio. A câmara termográfica capta a radiação emitida pelo corpo e a radiação refletida pela superfície do corpo, mas como a radiação do meio ambiente é baixa, uma vez que a temperatura do meio ambiente é baixa quando comparada com a do corpo, a componente refletida pode ser desprezada;
- Corpo e meio ambiente quentes e à mesma temperatura. A radiação incidente é igual à radiação emitida pelo corpo. Neste caso, o sistema funciona como um corpo negro, logo não é necessário corrigir a emissividade;
- Corpo quente e meio ambiente com temperatura superior. Neste cenário, podem ocorrer erros elevados na medição, que podem ser evitados eliminando a fonte externa de calor.

A presença de atmosfera entre a fonte emissora e os equipamentos termográficos origina erros na medição, uma vez que a maioria dos gases atmosféricos não é transparente. Por este motivo, as medições efetuadas a distâncias superiores a 10 m devem ser corrigidas [32, 37].

Existem ainda outros fatores que influenciam a medição em ensaios termográficos aplicados a edifícios, tais como variações da pressão atmosférica, incidência solar, humidade relativa, temperatura ambiente, vento, correntes de ar, presença de radiadores, luzes artificiais, veículos automóveis, equipamentos em funcionamento, pessoas, entre outros [32, 38].

A utilização da termografia de infravermelhos tem vindo a expandir-se rapidamente nos mais diversos setores. Esta rápida expansão deve-se ao facto de as vantagens que esta técnica apresenta se sobreporem às suas limitações.

Uma das vantagens da termografia de infravermelhos é que permite realizar medições sem que haja contato entre a superfície a medir e o equipamento, podendo a distância entre ambos variar de alguns milímetros até vários quilómetros, possibilitando assim estudar objetos localizados em zonas perigosas sem colocar em risco a vida do utilizador e o próprio equipamento, e detetar objetos encobertos.

Outra vantagem é que se trata de uma metodologia de ensaio não-destrutiva que possibilita a investigação de defeitos em larga escala e de uma forma rápida e eficaz.

Não requer andaimes ou outras plataformas de trabalho nem outras tarefas complementares no elemento em estudo, constituindo assim uma forma de ensaio pouco dispendiosa e que pode ser realizada sem que as instalações ou os sistemas sejam encerrados ou desligados. Possibilita a realização de ensaios noturnos, uma vez que não necessita de qualquer fonte de iluminação externa.

Permite uma fácil interpretação qualitativa dos resultados obtidos e apresenta uma grande capacidade de monitorização, o que possibilita fazer o controlo simultâneo e em tempo real de diversos pontos no mesmo cenário.

Atualmente os equipamentos de termografia por infravermelhos além de apresentarem capacidade para detetar pequenas variações de temperaturas, são cada vez mais leves e facilmente transportáveis, aumentando assim o seu leque de aplicações e a sua utilização em movimento.

No entanto, as condições de ensaio poderão ter que ser bastante rígidas, o que pode dificultar a sua realização, e devido à complexidade dos elementos construtivos e dos mecanismos de medição, a obtenção e a análise das imagens térmicas têm que ser efetuadas com bastante precisão, tornando-se necessária a qualificação do técnico que regista e interpreta os resultados.

A dificuldade de aquecimento uniforme de uma grande área, no caso da termografia ativa, e o custo elevado dos equipamentos constituem também uma limitação [25, 38, 39].

Tendo em conta as potencialidades da termografia de infravermelhos, é atualmente aplicada em vários setores como por exemplo na Ciência, na Segurança e Vigilância, na Indústria, nas Energias Renováveis, etc. Na Ciência, a termografia de infravermelhos é usada por exemplo na medicina, medicina veterinária, arqueologia, astronomia, geologia, monitorização ambiental, história e arte, oceanografia e meteorologia.

Na Indústria, esta técnica é aplicada no controlo de processos de fabrico e na manutenção de sistemas elétricos e mecânicos, etc. Na Segurança e Vigilância a termografia de infravermelhos é aplicada no combate a incêndios, vigilância, forças militares, buscas e salvamentos, navegação, entre outros. No setor das Energias Renováveis esta técnica é aplicada para avaliação dos sistemas fotovoltaicos e dos aproveitamentos de energia eólica [33, 38, 40]. As Figuras 3.10 e 3.11 apresentam exemplos da aplicação da termografia de infravermelhos em cada um dos setores referidos anteriormente.

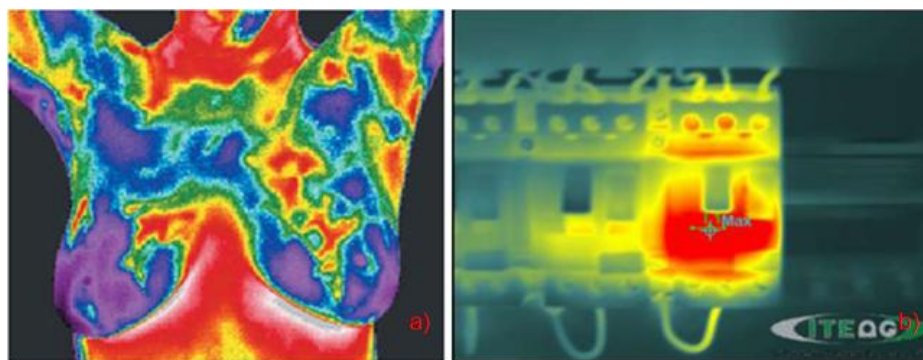


Figura 3.10 – a) Termografia aplicada à ciência (detecção de cancro da mama); b) Termografia aplicada à indústria (visualização da temperatura de um disjuntor) [41, 42]

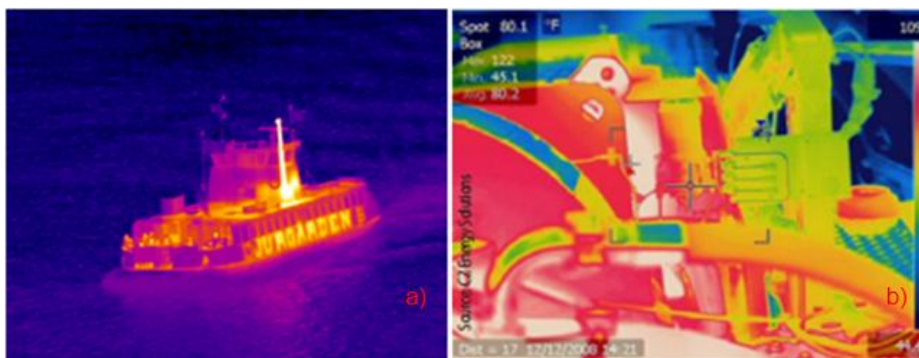


Figura 3.11 – a) Termografia aplicada à segurança (identificação de alvos para fins militares); b) Termografia aplicada ao setor das energias renováveis (visualização das temperaturas dos elementos no interior da cabina de uma turbina eólica) [43, 44]

3.3. TERMOGRAFIA APLICADA AOS EDIFÍCIOS

A termografia de infravermelhos permite detetar anomalias que se manifestam através de variações na temperatura superficial, de uma forma rápida, sem necessidade de contato e sem destruir o elemento em estudo.

As câmaras termográficas de infravermelhos permitem obter imagens dos padrões térmicos das superfícies dos edifícios e dos seus elementos construtivos, possibilitando assim, a identificação e o diagnóstico de anomalias já existentes ou ainda ocultas. Desta forma, a termografia de infravermelhos aplicada aos edifícios permite [32, 38]:

- Localizar perdas de calor através de vãos envidraçados e da envolvente opaca (Figura 3.12a);
- Detetar zonas sem isolamento ou com isolamento danificado (Figura 3.12b);
- Detetar fugas de ar (Figura 3.13a);
- Detetar humidade proveniente de infiltrações ou fugas de água (Figura 3.13b);
- Manutenção preventiva.

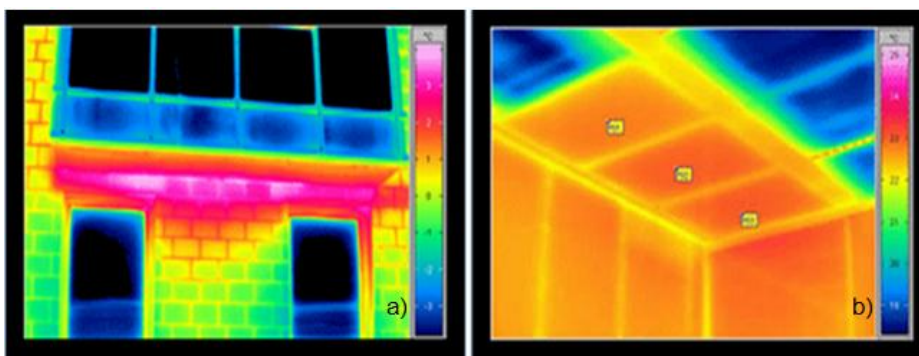


Figura 3.12 – a) Localização de perdas de calor em fachadas de edifícios; b) Identificação de zonas desprovidas de isolamento térmico [45]

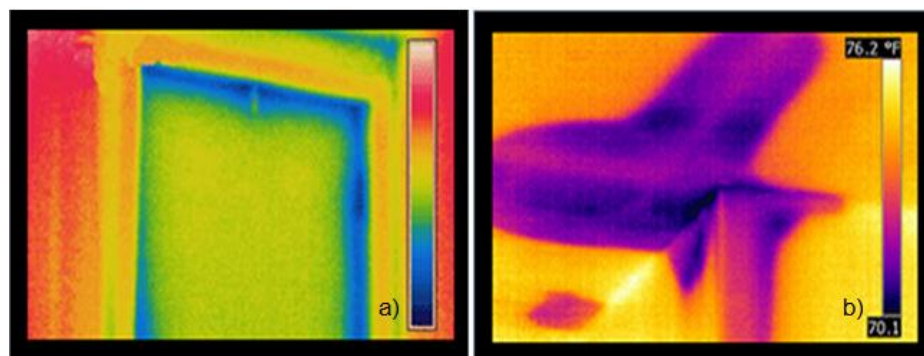


Figura 3.13 – a) Detecção de fugas de ar em janelas; b) Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos [45]

Apesar das inúmeras aplicações desta técnica aos edifícios, nem sempre a sua utilização é suficiente para detetar anomalias, sendo necessário complementar o diagnóstico com o recurso a outras técnicas [38].

3.3.1. TERMOGRAFIA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS RELACIONADAS COM AS TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

Nesta secção serão apresentados estudos já desenvolvidos relativos à aplicação da termografia de infravermelhos para a [38]:

- Avaliação do conforto de revestimentos de pavimento;
- Detecção de zonas sem isolamento ou com isolamento danificado;
- Detecção de fugas de ar através da envolvente opaca;
- Detecção de fugas de ar através das janelas;
- Detecção de defeitos em revestimentos de fachadas;
- Detecção de detalhes ocultos.

Relativamente à avaliação do conforto de revestimentos de pavimentos:

- Barreira e Freitas recorreram à termografia de infravermelhos para avaliar o nível de conforto dos revestimentos de pavimento, comparando qualitativamente os termogramas efetuados à planta do pé nu, após um determinado tempo de contato com diferentes tipos de revestimentos, permitindo assim, definir a maior ou a menor variação da temperatura superficial do pé. Os autores concluíram que quanto mais baixa for a temperatura superficial do pé, após o contato com o revestimento, maior será o desconforto inicial sentido resultante desse contato. Este facto resulta das trocas de calor entre o corpo e o revestimento, até que seja atingido o equilíbrio térmico [46].

Relativamente à deteção de zonas sem isolamento ou com isolamento danificado:

- Barreira refere que a termografia de infravermelhos permite controlar e avaliar o desempenho das diversas técnicas de isolamento térmico. Se o isolamento térmico é menor numa zona delimitada de um elemento construtivo, que apresenta o mesmo tipo de revestimento em toda a sua extensão, a variação da cor observada nos termogramas indica uma variação da temperatura superficial, resultante da inexistência de isolamento térmico ou da sua deficiente aplicação [38].

- Balaras e Argiriou afirmaram, para as condições em que foi feito o estudo, que quando os termogramas tirados pelo interior e pelo exterior do elemento construtivo apresentam diferenças de temperaturas de cerca de 11°C, o isolamento térmico nessa zona encontra-se danificado. Estes autores

concluíram ainda que, num termograma tirado pelo exterior durante o inverno, as pontes térmicas aparecem como zonas de cores claras, uma vez que, as perdas de calor a partir do interior, que se encontra a uma temperatura superior, causam um aumento de temperatura nessas zonas. Já num termograma, tirado pelo interior do elemento construtivo durante o verão, as pontes térmicas aparecem também como zonas claras, como consequência do calor absorvido pela superfície externa, que é conduzido para o espaço interior através dos materiais de construção. Esta situação verifica-se sobretudo em alturas em que a temperatura é elevada [47].

Relativamente à deteção de fugas de ar através da envolvente opaca:

- Barreira refere que as fugas de ar através da envolvente opaca de um edifício podem ser detetadas pela observação de variação na temperatura superficial nos termogramas, que se desenvolvem a partir de um ponto de fuga. No entanto, se for necessário uma análise mais precisa, deve estabelecer-se uma diferença de pressão artificial, usando equipamentos mecânicos que reduzem, de forma moderada, a pressão no interior do edifício, através da extração de ar, tornando-a inferior à pressão do ar exterior. Desta forma, o fluxo de ar frio vindo do exterior aumenta, arrefecendo a superfície interior adjacente ao ponto de fuga de ar da fachada do edifício, e provocando o aumento desta área fria nos termogramas obtidos no decorrer da despressurização, facilitando a deteção da fuga de ar [38].

Relativamente à deteção de fugas de ar através das janelas:

- Barreira argumenta que as perdas de calor em janelas ocorrem por condução ou por transferência de ar através de pontos de fuga. As perdas de calor devido a fugas de ar no caixilho, nas dobradiças ou nos encaixes das janelas podem ser detetadas por câmaras termográficas, devendo recorrer-se à diminuição artificial da pressão interior, através de equipamentos mecânicos, o que permite evidenciar os pontos de fuga nos termogramas, facilitando assim a sua localização. No entanto, as perdas de calor por condução apenas podem ser detetadas se as radiações visíveis, transmitidas através dos vidros, forem eliminadas com o recurso a filtros espectrais [38].

Relativamente à deteção de defeitos em revestimentos de fachadas:

- Barreira defende que se uma superfície exterior de um edifício possui variações de cor ou de textura, ou se existem fissuras ou descolamentos localizados, verificar-se-ão diferenças na radiação emitida pelas diferentes partes da superfície, após exposição à radiação solar. As anomalias no revestimento das fachadas constituem barreiras térmicas localizadas às transferências de calor, devido à formação de lâminas de ar entre a camada de revestimento e o elemento de suporte. Na fase de aquecimento, dificultam o fluxo de energia absorvida para o interior da parede, provocando assim um aumento de temperatura nas zonas dos defeitos, que corresponderão, nos termogramas, a zonas quentes. Na fase do arrefecimento, o fluxo de energia dá-se do interior para o exterior, sendo impedido de atingir diretamente a superfície por ação das lâminas de ar, o que faz com que as zonas do revestimento com anomalias, nesta fase, correspondam a zonas frias nos termogramas. Desta forma, a termografia de infravermelhos é uma técnica eficaz na deteção de anomalias em revestimentos de fachadas ou entre estes e o suporte [38].

- Barreira e Freitas verificaram que a cor da superfície tem muita influência na deteção de patologias, podendo mesmo mascarar eventuais anomalias [46].

- Cerdeira et al., procuraram testar a termografia de infravermelhos como técnica de inspeção de fachadas de edifícios. Utilizando placas de granito como revestimento, os autores concluíram que esta técnica permite detetar a falta de aderência das placas de granito ao suporte e é tanto mais eficaz quanto menor for a espessura do revestimento [48].

- O LNEC analisou a aplicação da termografia de infravermelhos na deteção de deslocamentos localizados no revestimento numa parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida, concluindo que esta técnica permite localizar facilmente os descolamentos nos processos de aquecimento e de arrefecimento e que a análise *in situ* deverá ser realizada com forte insolação e amplitude térmica elevada [49].

Relativamente à deteção de detalhes ocultos:

- Barreira refere que a termografia de infravermelhos pode ser usada para visualizar pormenores encobertos, como por exemplo, a posição da argamassa de assentamento numa parede revestida, a localização da tubagem de pavimentos radiantes, bem como de fugas ou obstruções que nesses possam ocorrer, localização de falhas nas instalações elétricas e identificação de pontos de sobreaquecimento num circuito de iluminação, entre outros [38].

3.3.2. TERMOGRAFIA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS RELACIONADAS COM A HUMIDADE

Nesta secção serão apresentados estudos já desenvolvidos relativos à aplicação da termografia de infravermelhos para análise de anomalias provocadas pela humidade. A humidade ou alterações no teor de humidade podem ser detetadas pela termografia, sempre que ocorrem alterações de temperatura na superfície em análise devido ao arrefecimento evaporativo (Rosina e Ludwig – [50]), redução da resistência térmica e aumento da capacidade de calor do material húmido (ASTM – [51]).

- Balaras e Argiriou afirmaram que a realização de inspeções, usando a termografia de infravermelhos, para detetar danos provocados pela água em coberturas, devem ser efetuadas à noite, visto que, durante o dia, a radiação solar direta pode encobrir possíveis diferenças de temperaturas causadas pelo isolamento húmido. As propriedades térmicas da água permitem detetar os danos provocados pela humidade, uma vez que para as mesmas condições, a água absorve ou liberta calor de uma forma mais lenta do que outros materiais. Assim sendo, uma zona húmida retém o calor absorvido durante o dia, por um período de tempo mais longo do que uma zona seca, ou seja, a irradiação do calor é mais lenta, permitindo assim que as zonas húmidas sejam detetadas, por temperaturas mais elevadas, à noite [47].

- Avdelidis et al., analisaram a aplicação da termografia de infravermelhos para detetar o movimento e a concentração da água em pedras porosas, em laboratório e *in situ* [52].

- Rajewski e Devine mostraram que as anomalias provocadas pela água em coberturas podem ser detetadas durante o Inverno, uma vez que o isolamento húmido conduz o calor absorvido mais rapidamente do que o isolamento seco, criando assim uma superfície mais quente na zona do isolamento húmido [53].

- Lerma et al., procuraram testar a aplicação da termografia de infravermelhos para detetar humidade sobre a fachada de um edifício, fazendo, com base numa análise multi-temporal, o mapeamento qualitativo da humidade superficial dessa fachada. Esta análise teve em conta o tipo de material da construção e a velocidade das mudanças de temperatura em função da presença ou da ausência de humidade. Estes autores concluíram que, de um modo geral, a humidade está localizada nas áreas que apresentam valores mais baixos de temperatura em cada material [54].

- Grinzato et al., analisaram a aplicação da termografia de infravermelhos para quantificar a evaporação de uma superfície. O estudo foi realizado numa parede de uma igreja, sem que fosse aplicada qualquer estimulação térmica artificial, e consistiu em aumentar a taxa de evaporação da superfície em análise através do aumento da velocidade do ar. Os autores concluíram que a

termografia de infravermelhos permite quantificar a evaporação de uma superfície e que a taxa de evaporação se relaciona com a velocidade de mudança de temperatura [55].

- Barreira e Freitas recorreram à termografia de infravermelhos para o estudo do processo de molhagem e secagem em provetes de betão celular autoclavado. Deste estudo concluíram que esta técnica apenas permite detetar humidade superficial, que só pode ser aplicada quando existe uma diferença de temperatura significativa entre o objeto a medir e o ambiente, e que o reconhecimento das zonas húmidas e secas só é possível devido à diferença de temperaturas nos termogramas, resultantes da evaporação na superfície molhada [46].

- O LNEC analisou a aplicação da termografia para a visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de betão celular autoclavado e de um provete de tijolo cerâmico vazado, concluindo que esta técnica permite detetar a ascensão capilar e a distribuição da água e que a diminuição do teor de água líquida diminui a capacidade de identificação da humidade [56, 57].

3.4. SÍNTESE

A transferência de calor é a energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Pode ocorrer por condução, convecção e por radiação. A condução e a convecção exigem a presença de um meio material, ao contrário da radiação onde a energia é transportada através de ondas eletromagnéticas.

Qualquer corpo com temperatura superior ao zero absoluto (0 K), emite energia, denominada de radiação térmica. As leis físicas que regem a radiação de energia por um corpo negro são a lei de Planck, a lei do deslocamento de Wien e a lei de Stefan-Boltzmann. Corpo negro é um conceito teórico usado para limitar superiormente a emissão de radiação, uma vez que, tem a capacidade de absorver e emitir toda a radiação que nele incide, sendo por isso, um emissor perfeito, isto é, a sua emissividade tem o valor máximo ($\varepsilon = 1$). Assim sendo, qualquer corpo real emite menos radiação do que um corpo negro.

As três leis referidas anteriormente dizem respeito apenas a corpos negros e a maioria das superfícies reais não se comportam como corpos negros. Para tal, é necessário introduzir o conceito de corpo cinzento. Corpo cinzento é um conceito teórico que caracteriza um corpo que se comporta de forma semelhante aos corpos negros, mas cujo a emissividade é inferior a um. Os corpos reais, ao contrário dos corpos cinzentos e negros, apresentam valores de emissividade que variam em função do comprimento de onda. No entanto, o facto de muitos corpos reais apresentarem um comportamento semelhante ao dos corpos cinzentos, uma vez que ambos emitem uma menor quantidade de radiação do que os corpos negros, permite considerar uma superfície real como aproximadamente cinzenta, sendo assim possível determinar a radiação total emitida por uma superfície real para uma determinada temperatura.

A termografia de infravermelhos é uma técnica que permite captar a radiação térmica emitida pela superfície de um objeto, convertendo-a numa imagem visual que representa a distribuição da temperatura superficial desse objeto. Existem três tipos de sistemas para medição de temperatura por infravermelhos, nomeadamente, os termómetros pontuais, os scanners de linha e as câmaras termográficas.

A termografia de infravermelhos permite uma análise qualitativa ou quantitativa, consoante o tipo de abordagem que se pretende efetuar. Os ensaios térmicos podem ser efetuados de forma ativa ou passiva, isto é, com ou sem a presença de um estímulo térmico artificial, respetivamente.

A emissividade dos materiais, a reflexão e absorção da energia podem influenciar os resultados obtidos pela termografia de infravermelhos. De forma menos significativa, existem outros fatores como por exemplo, a incidência solar, o vento, a distância entre o equipamento e o objeto a medir, que também podem influenciar as medições.

A termografia de infravermelhos é uma técnica não destrutiva que permite realizar medições sem que haja contato entre o equipamento e o objeto a analisar. No entanto, as condições de ensaio bastante rígidas e o elevado custo dos equipamentos podem limitar, de alguma forma, o recurso a esta técnica.

A termografia de infravermelhos é aplicada em vários setores da sociedade civil, como por exemplo, na Ciência, na Segurança e Vigilância, na Indústria, nas Energias Renováveis, entre outros.

Os estudos apresentados, relativos à aplicação da termografia para diagnóstico de patologias relacionadas com as transferências de calor e com a humidade em edifícios, permitem concluir que a termografia de infravermelhos é uma técnica de grande utilidade quando aplicada aos edifícios, uma vez que possibilita a obtenção de imagens visuais representativas da distribuição da temperatura superficial dos edifícios e dos seus elementos construtivos, permitindo assim, identificar anomalias já existentes ou ainda ocultas.

4

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

4.1. CÂMARA TERMOGRÁFICA

4.1.1. CARATERÍSTICAS DO THERMO TRACER TH7800

O Thermo Tracer TH7800 é uma câmara de infravermelhos da NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd. Este equipamento capta a energia infravermelha emitida pela superfície do objeto e converte-a em sinais elétricos através de um detetor de infravermelhos, formado por milhares de sensores infravermelhos (pixels). Após a captação ótica, a radiação infravermelha é transformada em imagens térmicas coloridas ou monocromáticas, que representam a distribuição da temperatura na superfície analisada [58].

Na tabela 4.1 e no Anexo A – Parte I apresentam-se as caraterísticas do Thermo Tracer TH7800, equipamento utilizado na realização deste trabalho [58, 59].

Tabela 4.1 – Caraterísticas do Thermo Tracer TH7800 [58, 59]

Temperatura	
Faixa de medição	Faixa 1 → -20 a 100°C
	Faixa 2 → 0 a 250°C
	Faixa 3 (opcional) → 200 a 1000°C
Resolução	0,05°C (Faixa 1 a 30°C, $\Sigma 16$)
	0,1°C (Faixa 1 a 30°C, 60Hz)
Precisão	$\pm 2^\circ\text{C}$ ou $\pm 2\%$ da leitura, o que for maior
Detetor	Matriz de plano focal não arrefecido (microbolómetro)
Desempenho na criação e apresentação de imagens	
Faixa espectral	8 a 14 μm
Imagem térmica	320 (H) \times 240 (V) pixels
Alcance da focagem	50cm ao infinito
Resolução espacial I.F.O.V.	1,5mrad
Campo de visão	27° (H) \times 20° (V)

Desempenho na criação e apresentação de imagens (continuação)	
Resolução A/D	14 bits
Visor	Visor & LCD de 3,5" a cores
Funções de medição	Executar / Congelar
Alarme	Indicação de alarme (ON / OFF)
Período de tempo	60frames/segundo
Melhoria S/N	OFF, $\Sigma 2$, $\Sigma 8$, $\Sigma 16$ e filtro espacial de ligar / desligar
Intervalo de medição	5 a 1000 intervalo de segundos
Correção de emissividade	0,10 a 1,00 (intervalos de 0,01)
Correção temperatura envolvente	Incluído (Incluindo intervalo NUC)
Compensação de fundo	Incluído
Correção ambiente	Incluído
Funções automáticas	Automático (nível, sensibilidade)
Fusão de imagem térmica/visual	Incluído
Processamento de imagem	Variável nível / sentido
	Indicador de temperatura multiponto (até 4 pontos)
	Correção de emissividade multiponto (até 4 pontos)
	Diferença de temperatura entre 2 pontos (Δt)
	Indicador de temperatura Máx/Min (valor de pico)
	Alarme (ecrã total ou caixa definida)
	Zoom digital: 2, 4 vezes (Executar / Congelar)
	Definição de caixa, até 5 caixas (máx, min, média)
Funções do visor	Cores de visor: cor / preto e branco, positivo / negativo
	Gradação: 16, 32, 64, 128, 256
	Paleta de cores: arco-íris, luminosidade, brilho, ferro quente, médio, fino
	Apresentação da banda isotérmica: máx. 4 bandas
	Indicação do nível de bateria no ecrã
Ponteiro laser	Classe 2 (1mW/635nm vermelho)
Anotação	Anotação de texto

Armazenamento de imagens e dados	
Capacidade de armazenamento de imagens	Até 1000 imagens (formato de arquivo SIT: térmica e visual)
Interface	USB 2.0/1.1 (modo de armazenamento)
Saída de sinal de vídeo	NTSC/PAL, sinal de vídeo composto, TH78-345: cabo de vídeo de 3m - opcional
Especificações gerais	
Temperatura de funcionamento	-15 a 45°C, 90% HR ou menos
Temperatura de armazenamento	-40 a 70°C, 90% HR ou menos
Fonte de alimentação	Adaptador AC: 100V to 240V, DC 7.2 V (nominal)
Tempo de duração da bateria	Aproximadamente duas horas e meia
Economia de energia	Stand by automático ou manual
Proteção às agressões do ambiente	IP54 (IEC60529)
Choque e vibração	294m/s ² (IEC60068-2-27), 29,4m/s ² (IEC60068-2-6)
Dimensões	Aproximadamente 102 (W) × 217 (H) × 205 (D) mm (excluindo saliências)
Peso	1,3Kg (incluindo bateria)
Acessórios padrão	Adaptador AC, bateria (2pcs), carregador de bateria, alça, tampa de lente, estojo de transporte, software de visualização, cabo USB, manual de operação
Câmara visual	
Pixels	0,41 Mega pixels
Imagem visual	752 (H) × 480 (V) pixels
Distância de focagem	50cm ao infinito
Campo de visão	34,6° (H) × 25,9° (V) ou maior
Sensibilidade	1 lux
Saída de sinal de vídeo	NTSC/PAL

4.1.2. COMPONENTES DO THERMO TRACER TH7800

Na Figura 4.1 e na tabela 4.2 são indicados e designados os componentes da câmara termográfica Thermo Tracer TH7800.



Figura 4.1 – Componentes do Thermo Tracer TH7800 (adaptado de [60, 61])

Tabela 4.2 – Designação e respetivas funções dos componentes do Thermo Tracer TH7800 [58, 59]

Número	Designação	Função
1	Ponteiro laser	Mostra a posição de medição
2	Janela CCD	Capta a radiação visível
3	Lente infravermelha	Capta a radiação infravermelha
4	Adaptador do terminal USB 2.0/1.1	Ligação do cabo USB 2.0/1.1
5	Tampa frontal	Protege o ponteiro laser, a janela CCD e a lente infravermelha
6	Botão de controlo	Obter a imagem visual e térmica
7	Compartimento da bateria	Para inserir a bateria
8	Adaptador do terminal AC	Ligação do adaptador AC
9	Interruptor de alimentação	Liga / desliga o equipamento
10	Tampa traseira	Protege o visor, o interruptor de alimentação, o terminal de saída vídeo e os botões de controlo
11	Visor	Exibe a imagem visual e infravermelha
12	Terminal de saída vídeo	Saída de sinal vídeo (NTSC / PAL)
13	Botões de controlo	Opera o equipamento

4.1.3. PRINCÍPIOS OPERATIVOS DO THERMO TRACER TH7800

4.1.3.1. Descrição das principais funções

Na tabela 4.3 são descritas as funções mais relevantes efetuadas pela Thermo Tracer TH7800, que devem ser acionadas para a realização de uma medição.

Tabela 4.3 – Descrição das funções mais relevantes do Thermo Tracer TH7800 [58]

Função	Descrição
Run/Freeze	Capta as imagens num determinado momento de medição
Range	Definição do intervalo de temperaturas (Range 1, Range 2)
Auto	Estabelece automaticamente o nível de temperatura, a sensibilidade e a focagem, para obter imagens térmicas otimizadas. Para medições mais precisas deve efetuar-se a definição manual destes três parâmetros
Focus	Configurar a focagem
Level	Configurar o nível de temperatura
Sensitivity	Configurar a sensibilidade
Save	Gravar imagens térmicas e imagens visuais
Emissivity	Configurar o valor de emissividade
Laser Point	Mostra a posição de medição
Color	Define o aspeto das imagens térmicas
Visible Image Mode	Exibe a imagem visual
Zoom	Define o zoom digital (x2 e x4)
Cal	Efetua a calibração interna do equipamento, para eliminar o efeito da reflexão e de variações ambientais da envolvente

4.1.3.2. Relação entre a área captada pelo equipamento e a sua distância ao objeto a medir

O manuseamento de uma câmara termográfica exige o conhecimento das áreas captadas e da resolução da imagem térmica, em função da distância entre o equipamento e a superfície do objeto a medir, o que permitirá durante a realização das medições obter resultados mais precisos e credíveis.

A Figura 4.2 e as tabelas 4.4 e 4.5 apresentam as áreas captadas e a resolução da imagem térmica em função da distância do equipamento Thermo Tracer TH7800 ao objeto a medir. A Figura 4.2 e a tabela 4.4 dizem respeito à imagem térmica e a tabela 4.5 à imagem visual, sendo a tabela 4.5 preenchida com base nos valores do campo de visão da câmara visual e na distância do equipamento ao objeto a analisar.

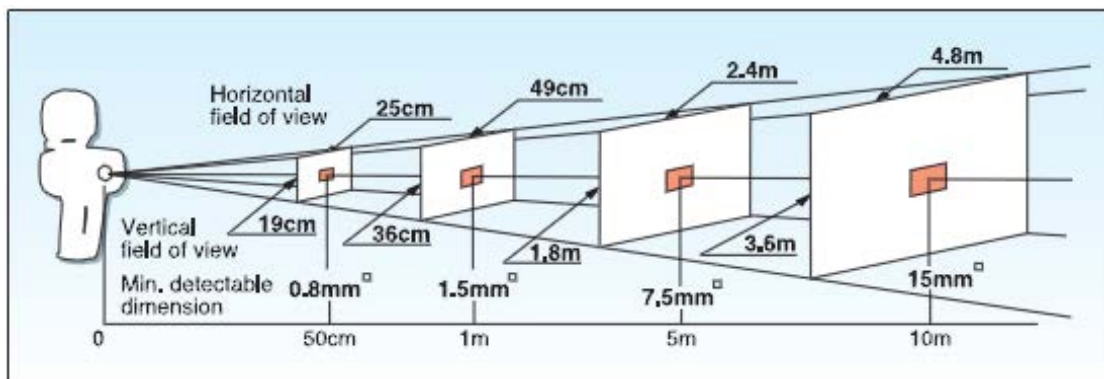


Figura 4.2 – Área captada e resolução da imagem térmica em função da distância [58, 59]

Tabela 4.4 – Campo de visão da câmara de infravermelhos do equipamento Thermo Tracer TH7800 [58, 59]

Distância entre o equipamento e o objeto (m)	Tamanho mínimo detetável (H × V mm)	Alcance horizontal (m)	Alcance vertical (m)
0,5	0,8 × 0,8	0,25	0,19
1,0	1,5 × 1,5	0,49	0,36
5,0	7,5 × 7,5	2,40	1,80
10	15 × 15	4,80	3,60

Tabela 4.5 – Campo de visão da câmara visual do equipamento Thermo Tracer TH7800 [58, 59]

Distância entre o equipamento e o objeto (m)	Alcance horizontal (m)	Alcance vertical (m)
0,5	0,31	0,23
1,0	0,62	0,46
5,0	3,11	2,30
10	6,22	4,60

4.1.3.3. Procedimentos a seguir durante a realização de uma medição

Antes do início de cada ensaio é recomendado que o equipamento seja colocado sobre o tripé, garantindo a sua total imobilização e permitindo assim uma maior estabilização no momento de captar as imagens. Seguidamente, é necessário proceder-se à calibração interna do equipamento, que consiste na execução de certas configurações para o ajuste das imagens térmicas. É aconselhável que as calibrações sejam realizadas com o valor da emissividade no equipamento igual a 1. O Thermo Tracer TH7800 permite fazer três tipos de calibrações, nomeadamente a REF CAL, a AMBIENT e a BACKGROUND [58].

Nos ensaios realizados e apresentados no Capítulo 5, como o objetivo era uma avaliação qualitativa dos termogramas, efetuou-se apenas um único tipo de calibração, nomeadamente, a REF CAL, que permite uma calibração em relação aos reflexos que possam existir na envolvente do objeto que se pretende analisar. Esta calibração só pode ser realizada com a tampa frontal do equipamento inserida [58].

O próximo passo consiste em definir a emissividade do objeto a medir. A emissividade pode ser selecionada a partir de uma listagem com vários materiais e respetivas emissividades que a própria câmara termográfica possui ou colocada manualmente através dos botões de controlo do equipamento.

Definida a emissividade da superfície a medir, é necessário definir a focagem, a sensibilidade e o nível de temperatura, o que pode ser feito automaticamente pelo equipamento ou ajustado manualmente pelo utilizador, permitindo assim uma maior precisão na obtenção dos termogramas. Antes de se efetuar qualquer medição deve ser garantido um período de aquecimento do equipamento de pelo menos 10 minutos, uma vez que durante este período as temperaturas indicadas no ecrã do equipamento não têm grande precisão.

Efetuada a medição, o utilizador pode decidir se grava ou não o termograma obtido e prosseguir para as restantes medições ajustando apenas a focagem, a sensibilidade e o nível de temperatura se necessário. Os termogramas são gravados em formato SIT [58].

4.1.3.4. Modos de visualização

Após se efetuar a medição, o Thermo Tracer TH7800 permite trabalhar a imagem térmica armazenada e obter diferentes formas de visualização, que melhor se adaptem aos objetivos do utilizador. De todas as funções disponíveis no equipamento as mais importantes são [58]:

- Alteração da sensibilidade e do nível de temperatura, possibilitando a obtenção de imagens térmicas em condições diferentes das existentes durante a medição.
- Realização de leituras de temperatura em pontos a definir na imagem. O número máximo de pontos que podem ser fixados numa imagem é de 4.
- Definição de valores de emissividade individuais para um ou mais pontos e obtenção de informações sobre como as temperaturas desses pontos são afetadas.
- Visualização dos pontos de temperatura máxima, média e mínima numa imagem.
- Definição de um valor máximo ou mínimo de temperatura associados a um alarme, que dispare e congela a imagem quando são atingidos os valores definidos.
- Visualização a cores de zonas isotérmicas, ficando as restantes distribuições de temperatura a escala de cinza. No máximo podem ser definidas até 4 zonas isotérmicas.
- Introdução de comentários sobre a imagem térmica.

4.1.4. LEITURA DAS IMAGENS NUM COMPUTADOR PESSOAL ATRAVÉS DO PROGRAMA VIEWER NS9205

4.1.4.1. Características gerais do programa Viewer NS9205

Este programa informático, criado pela NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd, corre em ambiente Microsoft Windows e permite processar as imagens provenientes do Thermo Tracer TH7800 num computador pessoal.

As principais funções deste programa são a abertura dos ficheiros para visualização das imagens térmicas via cabo USB 2.0/1.1, a transferência dos dados para folhas de cálculo Excel e da imagem para ficheiros de extensão BMP (imagem de mapa de bits), bem como a cópia do ecrã ou da janela, para inserir num documento. A impressão dos termogramas é feita numa impressora normal a partir do computador.

Permite realizar algumas funções de visualização, como por exemplo a subtração de imagens térmicas, a visualização de imagens térmicas de fusão ou da imagem visual, a definição de zonas isotérmicas e de curvas de temperatura. Este programa permite ainda alterar o nível de temperatura, a sensibilidade, a gradação da cor e o tipo de imagem, determinar os pontos de temperatura máxima, média e mínima de uma imagem térmica e inserir comentários.

Todas as alterações efetuadas ao termograma inicial têm que ser gravadas num ficheiro com uma extensão diferente do original para que os dados da medição fiquem sempre salvaguardados [62].

4.1.4.2. Funcionalidades do programa Viewer NS9205

A câmara termográfica fornece, para além das imagens térmicas, informações relativas aos valores de alguns parâmetros definidos durante a medição e que podem ser visualizadas num computador pessoal através do programa Viewer NS9205. A Figura 4.3 representa o esquema de uma janela do programa, com a designação das diferentes partes que a constituem e a tabela 4.6 apresenta as funções de cada uma dessas partes.

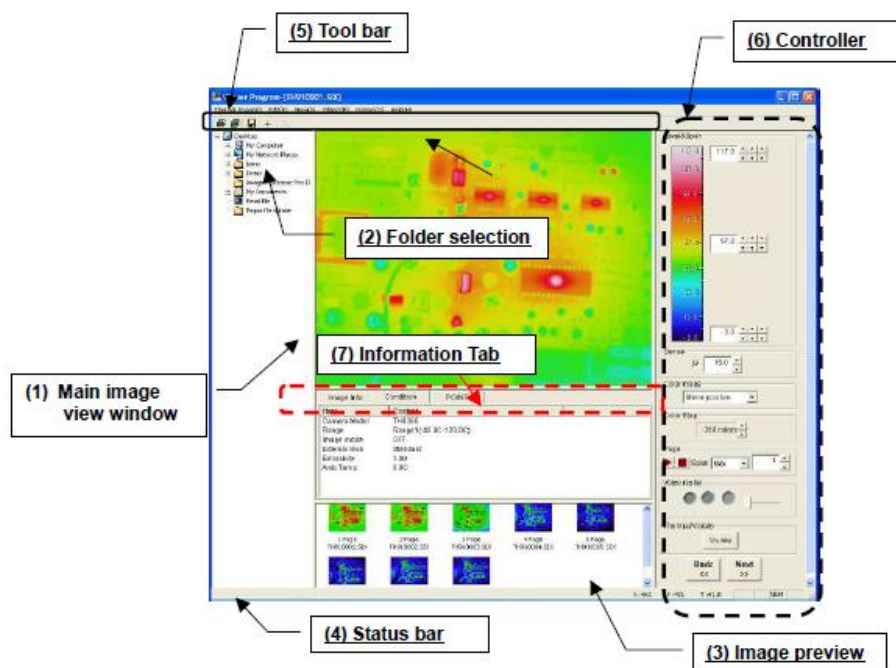


Figura 4.3 – Esquema de uma janela do programa Viewer NS9205 [62]

Tabela 4.6 – Designação e funções de cada uma das partes que constituem a janela representada na Figura 4.3 [62]

Número	Designação	Função
1	Janela de exibição da imagem principal	Mostra uma imagem térmica e uma imagem visual anexada à imagem térmica
2	Seleção da pasta	Selecionar a pasta que inclui os arquivos de imagem que se pretendem visualizar
3	Janela de visualização de imagens	Mostra os arquivos de imagem da pasta selecionada
4	Barra de estado	Indica o valor das coordenadas e da temperatura relativos à posição do cursor do rato
5	Barra de ferramentas	Permite abrir apenas uma ou um conjunto de imagens térmicas, gravar alterações efetuadas nas imagens térmicas, inserir pontos nas imagens térmicas e definir as suas coordenadas e os seus valores de emissividade
6	Controlador	Permite alterar a sensibilidade, o nível de temperatura, gradação e o tipo de imagem

4.2. DETETOR DE HUMIDADE

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DO DETETOR DE HUMIDADE TRAMEX LS

O detetor de humidade Tramex LS é um instrumento eletrónico alimentado por pilhas usado para a deteção de humidade em elementos construtivos. O contato direto entre a base do aparelho e a superfície do elemento é necessário para se detetar a presença de humidade no seu interior, possibilitando assim uma análise não destrutiva.

Este equipamento emite dois tipos de sinais elétricos com intensidades diferentes, ao que correspondem duas escalas de sensibilidade. Na “Escala 1”, o sinal elétrico emitido pelo aparelho é de menor intensidade, sendo, por isso, menos sensível e usada em elementos cujo revestimento possui poucas camadas. Na “Escala 2”, o sinal elétrico emitido é mais intenso, logo é a mais sensível, devendo ser usada em elementos cujo revestimento possui um maior número de camadas [63].

O aparelho opera com base no princípio de que a resistência elétrica de um material varia em função do seu teor de humidade. Quando é colocado em contato com o material a ser analisado, os eletrodos de borracha condutora integrados na base do aparelho transmitem um sinal elétrico que penetra no material até uma profundidade máxima de 3 cm. O sinal transmitido é proporcional à resistência elétrica do material e, nas situações em que há humidade no interior do material, a sua resistência elétrica apresenta valores reduzidos, possibilitando assim ao aparelho detetar o sinal inicialmente transmitido. O contato das borrachas condutoras com o material permite o retorno do sinal ao aparelho, que irá determinar a sua amplitude e, após processamento, exibir o valor de humidade no ecrã através do seu ponteiro móvel [64].

O valor exibido no detetor de humidade corresponde a uma escala entre 0 e 100%, que indica a variação relativa do valor do teor de humidade do elemento segundo diferentes níveis de sensibilidade.

Existem certos revestimentos em que os sinais emitidos pelo aparelho não conseguem penetrar, impossibilitando a sua utilização, tais como revestimentos à base de borracha que contêm negro carbono, como por exemplo o EPDM e a butílica [63].

Na tabela 4.7 e no Anexo A – Parte II apresentam-se as características do detetor de humidade Tramex LS existente no Laboratório de Física das Construções da FEUP [63].

Tabela 4.7 – Características do detetor de humidade Tramex LS [63]

Especificações gerais	
Dimensões	276 mm (L) × 122 mm (l) × 84 mm (H)
Peso	1,12 Kg
Fonte de alimentação	Duas pilhas PP3 de 9V, 1604, 6F22, 6LF22 ou de um tipo equivalente
Acessórios	Capa de proteção, braço telescópico, manual de utilização

4.2.2. COMPONENTES DO DETETOR DE HUMIDADE TRAMEX LS

Na Figura 4.4 e na tabela 4.8 são indicados os componentes do detetor de humidade Tramex LS.



Figura 4.4 – Componentes do detetor de humidade Tramex LS

Tabela 4.8 – Designação e funções dos componentes do detetor de humidade Tramex LS [63]

Número	Designação	Função
1	Medidor analógico	Exibe o valor de humidade
2	Orifício para engate do braço telescópico	Permite o engate do braço telescópico ao equipamento
3	Pega de transporte	Transporte do equipamento
4	Interruptor de áudio	Exibe um sinal sonoro quando deteta humidade
Seleção da escala		
5	LED amarela intermitente – Escala 1 LED vermelho intermitente – Escala 2	Escolha da escala
6	Controlo de bateria	Indicação do nível de bateria
7	Interruptor de alimentação	Liga / desliga o equipamento
8	Botão de sensibilidade	Escolha do nível de sensibilidade

4.2.3. PROCEDIMENTOS A SEGUIR DURANTE A REALIZAÇÃO DE UMA MEDIÇÃO

Numa primeira fase deve ser realizado um desenho da superfície do elemento que se pretende analisar, representando toda a sua área bem como aberturas e irregularidades que possam existir. Seguidamente, toda a zona a analisar deve ser dividida numa grelha, devidamente numerada e com um determinado espaçamento definido consoante o que o utilizador considere como o mais adequado à situação. Após a marcação da grelha, é escolhida a escala e o nível de sensibilidade com que se pretende trabalhar e o detetor de humidade é deslocado ao longo das linhas imaginárias, registando-se no desenho da superfície os locais para os quais o aparelho deteta humidade.

Quando se pretende determinar a localização de uma infiltração, o primeiro nível de sensibilidade a ser usado corresponde ao nível máximo. Posteriormente, o nível de sensibilidade vai sendo reduzido várias vezes, seguindo sempre o sinal mais forte, até se conseguir localizar a zona que contém o maior valor de humidade, já que a concentração de humidade é sempre mais forte nas proximidades do local da infiltração [63].

5

ESTUDOS EXPERIMENTAIS REALIZADOS

5.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Este capítulo diz respeito aos estudos experimentais realizados, onde serão avaliadas três formas de manifestação da humidade, nomeadamente, a humidade ascensional, de precipitação e de condensação.

O objetivo principal destes ensaios é avaliar se a termografia pode ser utilizada como forma de detetar humidade nos elementos construtivos e determinar a sua origem. Para tal, no decorrer dos ensaios, os termogramas efetuados a zonas degradadas devido à presença de humidade serão comparados com os resultados de um detetor de humidade.

Pretende-se desta forma, recorrendo aos dois equipamentos mencionados e descritos no capítulo anterior, analisar elementos construtivos ou provetes que apresentem patologias associadas às formas de manifestação de humidade anteriormente referidas.

Relativamente à humidade ascensional, foram realizados dois estudos, para dois espaços diferentes, com objetivos distintos. Para a primeira situação analisou-se uma parede enterrada de uma garagem de um edifício multifamiliar, que na zona interior apresentava degradação, que poderia ser associada ao efeito das humidades ascensionais. O objetivo foi perceber se a mancha observada provinha da ascensão capilar da água do terreno que envolve exteriormente a parede. A segunda situação teve lugar no Laboratório de Física das Construções na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no qual se embebeu um provete de pedra calcária, com cerca de $2,00 \times 1,80 \times 0,20 \text{ m}^3$, em água, com o objetivo de se observar a absorção por capilaridade do provete.

Para a humidade de precipitação, os estudos realizaram-se em três espaços distintos, com o objetivo de se localizar as infiltrações responsáveis pelas manchas de humidade observadas no interior. Os espaços analisados foram a sala B 108 e a cafeteria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e um quarto de um edifício de habitação multifamiliar.

Relativamente à humidade de condensação, o estudo realizado decorreu no Laboratório de Física das Construções na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com o objetivo de se observar a presença de possíveis condensações na superfície de uma parede interior. A ocorrência de condensações superficiais foi simulada aspergindo a parede com água.

Relativamente aos dados obtidos pela câmara termográfica, importa referir que todos os termogramas foram tirados com uma emissividade igual a 0,90 e apresentados com escala de temperaturas incorporada, o que permite uma melhor compreensão das imagens. O valor escolhido para a emissividade deve-se ao facto de a maior parte dos materiais usados na construção de edifícios possuir

um valor de emissividade próximo da unidade e de o valor exato da emissividade não ser relevante quando se pretende fazer uma análise qualitativa dos resultados, que foi o objetivo deste trabalho. A escala de temperaturas foi definida manualmente para cada termograma tirado, tentando-se sempre utilizar a mais adequada para a situação em análise.

Os resultados obtidos através do detetor de humidade serviram principalmente como uma confirmação ou validação dos termogramas obtidos. Para que tal fosse possível foi necessário trabalhar estes valores com o objetivo de transformá-los numa imagem com características semelhantes às dos termogramas, para que assim se pudessem relacionar e daí se tirassem conclusões.

Tendo em conta a natureza dos elementos construtivos analisar, todas as medições utilizando o detetor de humidade foram realizadas com a escala de sensibilidade menos intensa, nomeadamente, a “Escala 1”.

A termografia é um método de registo fotográfico de padrões de calor emitidos por um corpo, o qual permite a obtenção dos termogramas. Os termogramas são imagens constituídas por várias cores que representam um código e que variam conforme a temperatura a que os elementos captados na imagem se encontram [65, 66]. As cores que compõem os termogramas seguem o código de cores apresentado na Figura 5.1 [66].



Figura 5.1 – Código de cores dos termogramas [66]

O detetor de humidade não mede o valor do teor de humidade, mas sim a sua variação relativa segundo diferentes sensibilidades, permitindo localizar com rigor as zonas húmidas e identificar as suas origens. O valor obtido através do detetor varia entre 0 e 100%, correspondendo o 0% a um sinal mais fraco e o 100% a um sinal mais forte.

Antes de se utilizar o detetor de humidade é necessário definir uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento, que englobe toda a área que se pretende analisar. O espaçamento a atribuir depende fundamentalmente do tamanho da zona que se pretende analisar. A Figura 5.2 exemplifica a marcação de uma grelha numa parede, englobando toda a zona a estudar.



Figura 5.2 – Exemplo de uma grelha marcada numa parede para as medições com o detetor de humidade

A grelha abrangendo a área a estudar deve ser convertida numa tabela onde se indica o valor lido pelo detetor de humidade para cada um dos pontos e os espaçamentos entre todos os pontos. A Tabela 5.1 corresponde ao tratamento da grelha representada na Figura 5.2.

Tabela 5.1 – Representação da grelha apresentada na Figura 5.2

Escala de sensibilidade - ...									
Pontos	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	0	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40
9	2,58								
8	2,35								
7	2,05								
6	1,75								
5	1,45								
4	1,15								
3	0,85								
2	0,55								
1	0,25								
Nível do pavimento									

Partindo do princípio que aos maiores valores obtidos através do detetor de humidade correspondem temperaturas menores e aos menores valores de humidade correspondem temperaturas mais elevadas, atribuiu-se aos diferentes valores obtidos através do detetor de humidade o mesmo código de cores usado na composição dos termogramas (Figura 5.1). A tabela 5.2 apresenta as cores atribuídas aos diferentes intervalos de valores obtidos pelo detetor de humidade, em função do código de cores representado na Figura 5.1.

Tabela 5.2 – Cores atribuídas aos diferentes intervalos de valores obtidos pelo detetor de humidade

Intervalo de valores obtidos através do detetor de humidade	Cor atribuída
0 - 20	Red
21 - 40	Orange
41 - 60	Green
61 - 80	Cyan
81 - 100	Blue

Utilizando o Excel [67], é possível formatar as células onde se irão inserir os valores obtidos pelo detetor de humidade, com base na relação representada pela tabela 5.2. A tabela 5.3 é um exemplo da formatação usada.

Tabela 5.3 – Tabela exemplificativa da formatação usada no Excel

Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,30	0,45	0,60	0,78
5	0,55	79	92	89	89	82	100
4	0,41	52	62	48	22	50	86
3	0,31	0	18	20	0	40	88
2	0,20	0	0	0	0	63	100
1	0,10	0	0	0	0	34	42
Nível do pavimento							

Recorrendo ao Excel, é também possível obter um gráfico de superfície de curvas de nível dos valores medidos pelo detetor de humidade. A Figura 5.3 apresenta o gráfico criado no Excel para os valores da tabela 5.3.

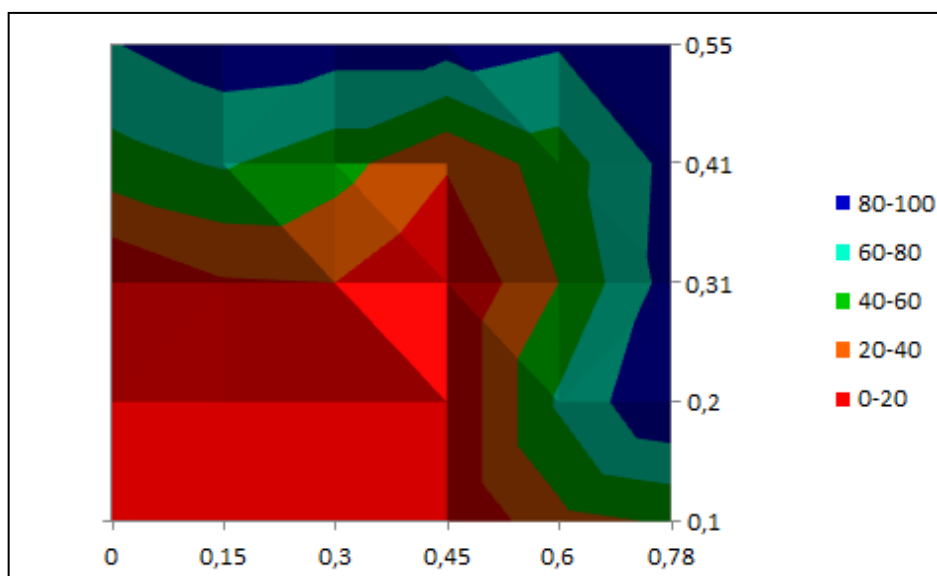


Figura 5.3 – Gráfico criado no Excel para os valores da tabela 5.3

Este tipo de gráfico é o mais adequado para o presente trabalho, uma vez que se pretende relacionar, para uma determinada zona, os gráficos resultantes das medições efetuadas com o detetor de humidade com os respetivos termogramas. Trata-se de um gráfico a três dimensões, visto de cima, em que as cores representam intervalos de valores.

A Figura 5.4 explicita a informação fornecida por este tipo de gráficos, no qual a grelha traçada na zona que se pretende analisar está representada no plano xOy, encontrando-se os espaçamentos horizontal e vertical entre os pontos dessa grelha representados nos eixos x e y. Os valores obtidos pelo detetor de humidade são representados pelo eixo h.

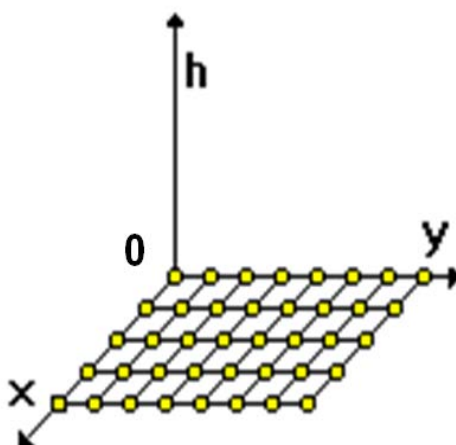


Figura 5.4 – Eixo tridimensional (adaptado de [68])

Sendo os termogramas imagens a duas dimensões, e no sentido de aproximar as características dos gráficos obtidos do Excel das características dos termogramas, através do Photoshop [69] é possível

trabalhar estes gráficos, transformando-os em imagens a duas dimensões. A Figura 5.5 apresenta o resultado final do tratamento do gráfico da Figura 5.3 no Photoshop.

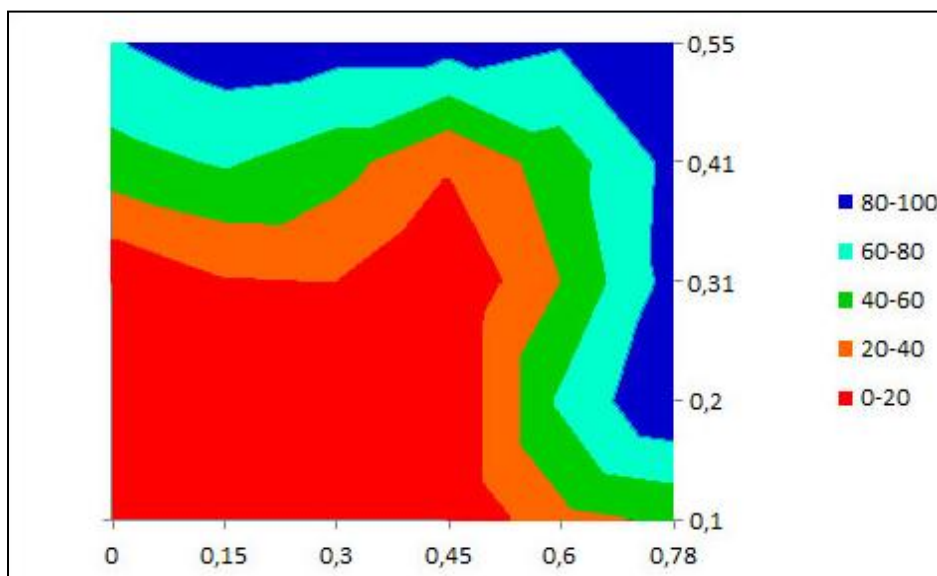


Figura 5.5 – Gráfico da figura 5.3 trabalhado no Photoshop

5.2. HUMIDADE ASCENSIONAL

5.2.1. 1º CASO – GARAGEM DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR

5.2.1.1. Condições e procedimentos do ensaio

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento, que abrange toda a zona a analisar (Figura 5.6);
- Para todos os pontos da grelha, usando o detetor de humidade, obtiveram-se os respetivos valores, para as diferentes escalas de sensibilidade usadas;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas da zona em análise.



Figura 5.6 – Grelha marcada na parede da garagem compreendendo toda a zona a analisar

Tendo em conta as dimensões da zona a analisar, optou-se por utilizar pontos da grelha menos espaçados para as zonas onde se observam degradação do revestimento e mais espaçados nas restantes áreas.

5.2.1.2. Medições e observações efetuadas

Para este estudo, as escalas de sensibilidade usadas foram as de nível 4 e 3,5, pois verificou-se num ensaio preliminar que usando um nível de sensibilidade superior a 4 todos os pontos teriam valores entre 81 e 100 e usando um nível de sensibilidade inferior a 3,5 os valores medidos estariam compreendidos entre 0 e 20.

As figuras seguintes apresentam as tabelas com os valores obtidos pelo detetor de humidade para a zona em análise, para cada escala de sensibilidade usada, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Como se pode observar na Figura 5.6, o espaçamento horizontal não é o mesmo para todos os pontos da grelha. De uma forma geral, pelas razões já referidas anteriormente, para a parte inferior da parede o espaçamento horizontal entre pontos é de 0,20 m, enquanto para a parte superior é de 0,40 m. Nas tabelas das Figuras 5.7 e 5.9, os pontos (6, B), (6, D), (6, F), (6, H), (6, J), (6, L), (6, N), (7, B), (7, D), (7, F), (7, H), (7, J), (7, L), (7, N) não correspondem a pontos marcados na parede, como se pode observar na Figura 5.6, tratando-se de pontos fictícios necessários para o preenchimento das tabelas e

obtenção dos respetivos gráficos. O valor tomado para cada um destes pontos resulta de uma média aritmética simples entre os pontos da grelha imediatamente anterior e posterior, arredondado à unidade.

Escala de sensibilidade - 4																
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8
7	2,3	38	38	38	33	28	35	42	51	59	51	42	45	48	37	26
6	1,9	34	36	38	44	50	51	52	45	38	45	51	53	54	50	46
5	1,5	84	100	84	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1,2	100	100	92	96	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	0,9	100	100	100	91	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	0,6	100	100	100	100	84	100	100	100	100	100	100	100	100	58	100
1	0,3	100	80	100	98	85	8	100	100	100	100	100	60	98	89	100
Nível do pavimento																

Figura 5.7 – Parede enterrada de garagem - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 4”

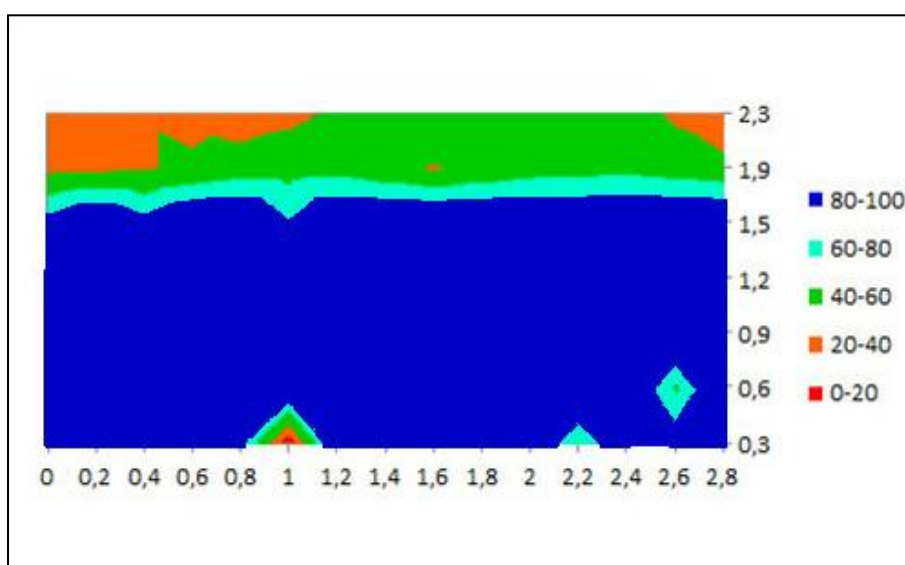


Figura 5.8 – Parede enterrada de garagem - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.7

		Escala de sensibilidade - 3,5														
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8
7	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,5	82	46	27	43	42	32	36	45	52	44	62	62	46	30	32
4	1,2	24	16	14	16	23	12	32	28	48	61	91	46	66	56	26
3	0,9	20	32	44	16	11	50	38	42	50	37	67	51	32	57	56
2	0,6	28	11	22	25	13	46	46	69	59	66	50	58	32	6	50
1	0,3	52	22	62	9	0	0	54	57	46	22	10	0	0	20	22
Nível do pavimento																

Figura 5.9 – Parede enterrada de garagem - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 3,5”

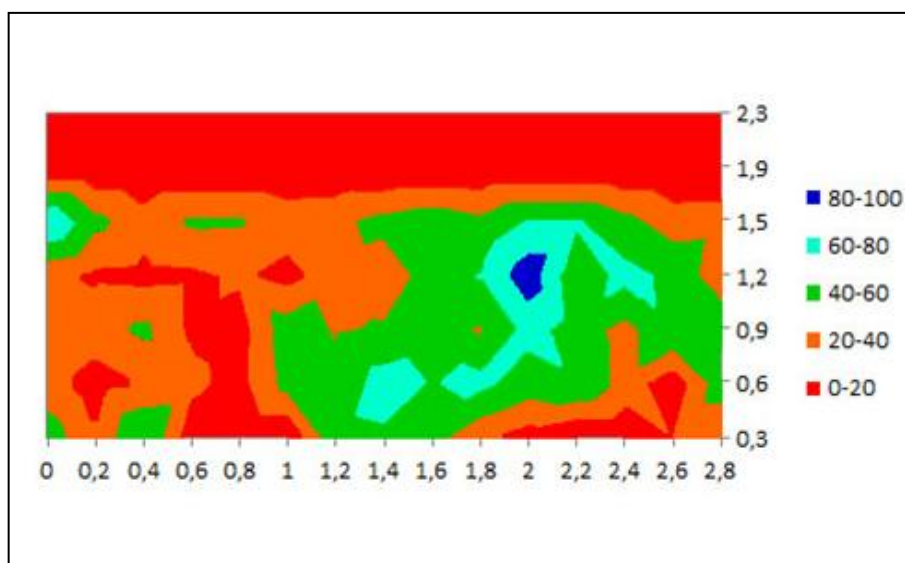


Figura 5.10 – Parede enterrada de garagem - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.9

A Figura 5.11 apresenta um dos termogramas tirados à zona em análise, acompanhado da respetiva fotografia, utilizando a câmara termográfica. Os restantes termogramas encontram-se no Anexo B – Parte I.

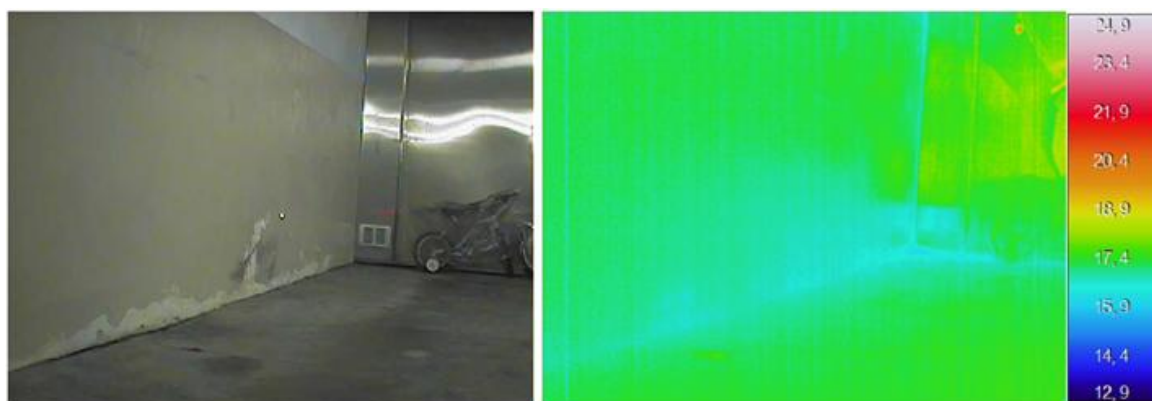


Figura 5.11 – Parede enterrada de garagem - Fotografia e termograma

5.2.1.3. Apreciação dos resultados

Na Figura 5.6 é possível observar que a parte mais degradada da zona analisada se encontra junto ao pavimento, apontando como causa a humidade ascensional proveniente do terreno. Os resultados obtidos pelo detetor de humidade (Figuras 5.8 e 5.10) mostram que os maiores valores foram obtidos aproximadamente do meio para baixo da zona analisada, o que comprova que a causa da degradação observada é a humidade proveniente do terreno. No gráfico da Figura 5.10, relativo a uma escala de sensibilidade inferior, a mancha azul escura observada, corresponde à degradação da pintura (Ponto I na Figura 5.6). O aumento de humidade detetado pode estar relacionado com o facto de a zona degradada da pintura ser um caminho preferencial da humidade, uma vez que a pintura da parede foi realizada com uma tinta plástica, bastante impermeável ao vapor, o que condiciona a secagem da parede.

Apesar de os termogramas obtidos para este estudo serem pouco esclarecedores, o termograma da Figura 5.11 apresenta, para a parte inferior da zona analisada, temperaturas superficiais inferiores às restantes, reforçando assim os resultados obtidos pelo detetor de humidade. Contudo, os resultados obtidos utilizando a termografia são poucos conclusivos, uma vez que, sem o auxílio de outro método de diagnóstico, não seria possível afirmar com certeza que a mancha observada resultava da presença de humidade. A dificuldade na deteção de humidade utilizando a termografia pode estar relacionada com o facto de a parede estar revestida com uma tinta plástica, impermeável ao vapor, que dificulta a evaporação à superfície, fenómeno que é detetado através da câmara termográfica [30].

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a degradação da pintura e as manchas observadas provêm da ascensão capilar da água do terreno em contato com a parede.

5.2.2. 2º CASO – LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES DA FEUP

5.2.2.1. Condições e procedimentos do ensaio

O estudo foi realizado no Laboratório de Física das Construções da FEUP, numa tina contendo no seu interior um provete de pedra calcária (Figura 5.12). O provete em causa é constituído por 6 blocos com $2,00\text{ m} \times 0,30\text{ m} \times 0,20\text{ m}$, com juntas horizontais de argamassa de 1 cm de espessura. Dadas as dimensões do provete, definiu-se uma zona central que foi objeto das observações termográficas e das medições com o detetor de humidade, como se pode observar na Figura 5.12.



Figura 5.12 – Tina com o provete no seu interior e zona do provete analisada

Relativamente às observações termográficas, apenas o primeiro termograma, obtido para o provete seco, será apresentado com a respetiva fotografia, indicando assim a zona captada pela câmara termográfica. Os restantes termogramas obtidos neste estudo serão apresentados sem a fotografia indicando a zona captada, uma vez que antes do ensaio ter início, marcou-se no pavimento do Laboratório a posição do tripé, sendo a zona captada pela câmara termográfica exatamente a mesma para todos os termogramas, como se pode observar na Figura 5.13.



Figura 5.13 – Posição da câmara termográfica para a obtenção dos termogramas ao longo de todo o ensaio

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Utilizando a câmara termográfica foi tirado um termograma da zona em análise, com o provete seco;
- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento na zona central do provete, previamente marcada (Figura 5.14);
- Para a zona seca, usando o detetor de humidade obtiveram-se, para todos os pontos da grelha, os valores para cada uma das escalas de sensibilidade usadas;
- O provete de calcário foi parcialmente imerso em água, até 35 cm a contar da sua base, como se pode observar na Figura 5.14;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas da zona em análise, sendo o primeiro obtido imediatamente após a embebição do provete e os restantes espaçados no tempo;
- Imediatamente a seguir à captação do termograma, usando o detetor de humidade obtiveram-se, para todos os pontos da grelha, os respetivos valores para a escala de sensibilidade escolhida.

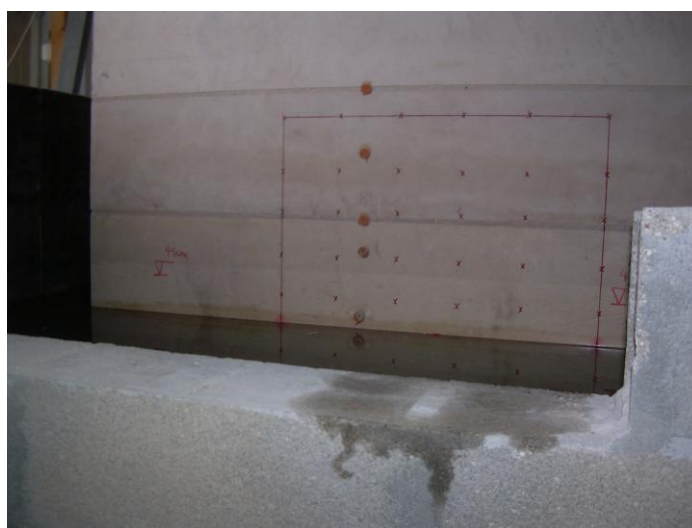


Figura 5.14 – Grelha marcada na zona central do provete de pedra calcária

5.2.2.2. Medições e observações efetuadas

O período de embebição do provete durou cerca de 532 horas. Durante o tempo de ensaio obtiveram-se, para a zona em análise, os respetivos termogramas e valores do detetor de humidade, espaçados no tempo. Para esta zona foram tiradas fotografias espaçadas no tempo, com o intuito de se acompanhar visualmente a ascensão capilar no provete, o que nem sempre foi fácil devido à degradação observada na superfície do provete, resultante de ensaios anteriores. A linha preta traçada em todas as fotografias corresponde ao ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível durante a absorção por capilaridade do provete para o momento do ensaio em que a fotografia foi tirada.

Relativamente ao detetor de humidade, neste estudo as escalas de sensibilidade usadas variaram consoante o período do ensaio. As escalas de sensibilidade, máxima e mínima, usadas neste ensaio correspondem às de nível 6 e 3, pois verificou-se num ensaio preliminar que não havia necessidade de se usar um nível de sensibilidade superior a 6 nem inferior a 3, uma vez que todos os pontos teriam valores entre 81 e 100 e entre 0 e 20, respetivamente.

Todos os termogramas, fotografias, tabelas relativas aos valores do detetor de humidade e respetivos gráficos obtidos neste ensaio encontram-se apresentados no Anexo B – Parte II.

Na tabela 5.4 e na Figura 5.15 estão indicados os valores medidos, ao longo do ensaio, da altura máxima da ascensão capilar visível no provete de pedra calcária.

Tabela 5.4 – Ascensão capilar visível durante a absorção por capilaridade do provete de pedra calcária

Tempo de ensaio (h)	Altura de ascensão capilar visível (cm)	Fotografia + Termograma (ANEXO B – Parte II.1)
-	-	Figura B.3
0h00	0	Figura B.4
2h00	0	Figura B.5
4h00	0	Figura B.6
8h00	0	Figura B.7
28h00	0	Figura B.8
52h00	4	Figura B.9
100h00	12	Figura B.10
148h00	19	Figura B.11
196h00	23	Figura B.12
268h00	25	Figura B.13
340h00	26	Figura B.14
436h00	26	Figura B.15
532h00	26	Figura B.16

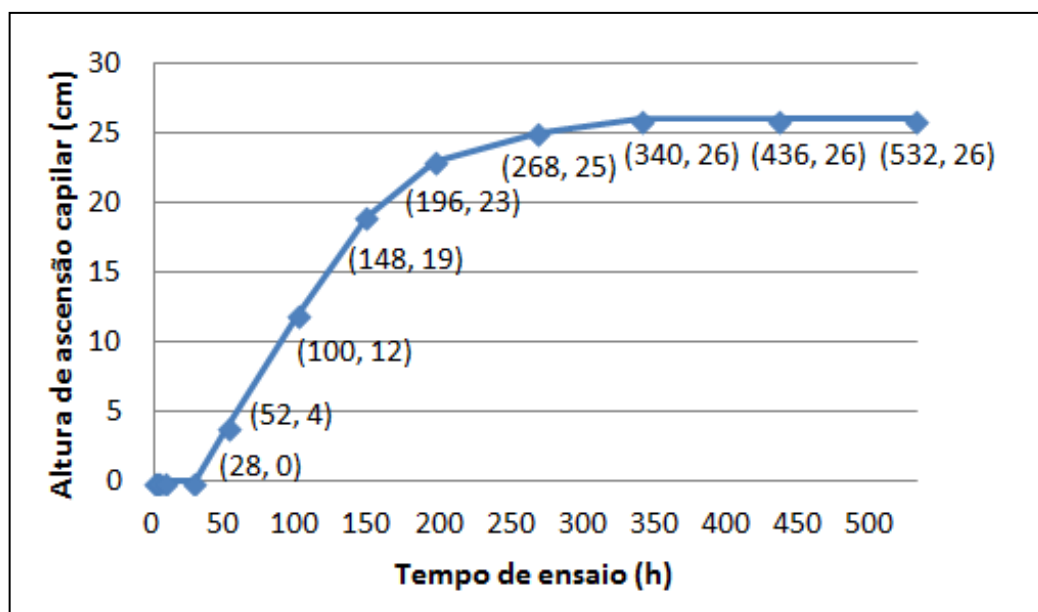


Figura 5.15 – Variação da ascensão capilar visível no provete de pedra calcária

Da análise do gráfico da Figura 5.15 é possível verificar que o aumento da altura da ascensão capilar visível ocorreu de uma forma mais lenta até às 52 horas após a embebição parcial do provete. Entre as 52 e as 268 horas após a embebição o nível de ascensão capilar visível no provete aumentou de uma forma mais rápida. Passadas 268 horas o nível de ascensão capilar visível aumentou apenas 1 cm e de forma muito lenta com tendência a estabilizar a partir das 340 horas.

As Figuras 5.16 a 5.27 apresentadas mostram através de fotografias, termogramas e dos resultados do detetor de humidade, para a escala de sensibilidade escolhida, a evolução da humidade ao longo do ensaio.

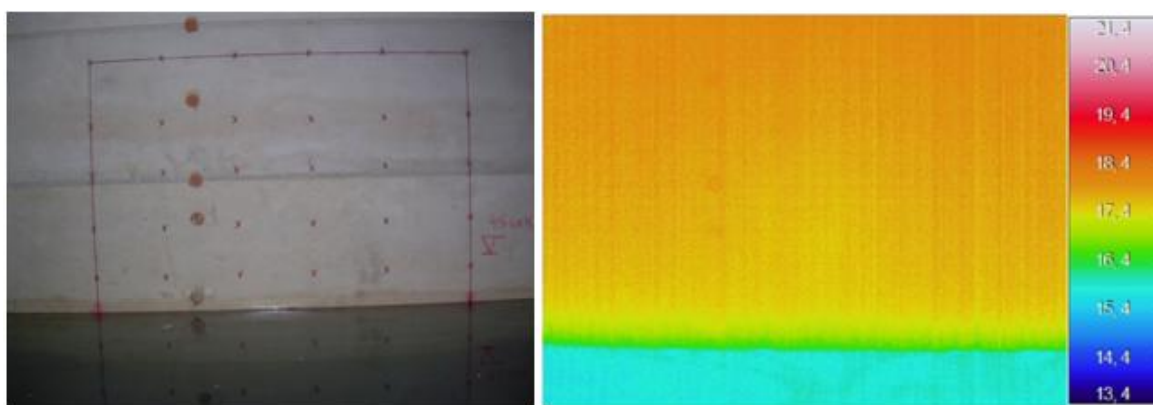


Figura 5.16 – Fotografia e termograma obtidos às 0 horas

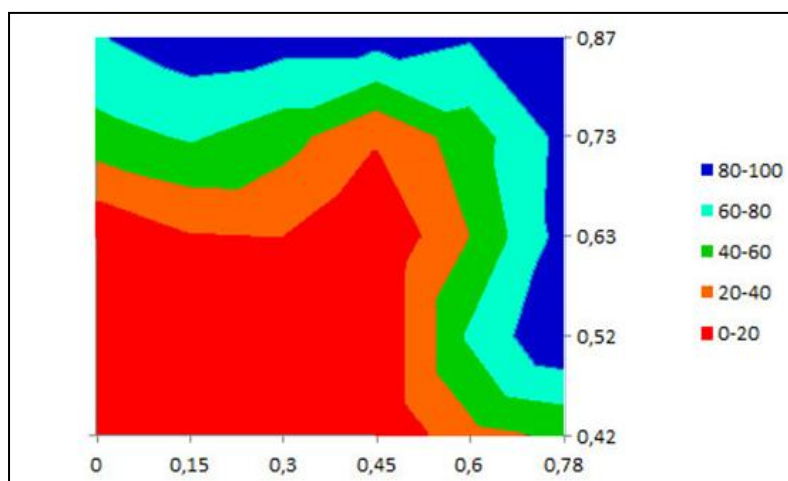


Figura 5.17 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 4 obtido para as 0 horas

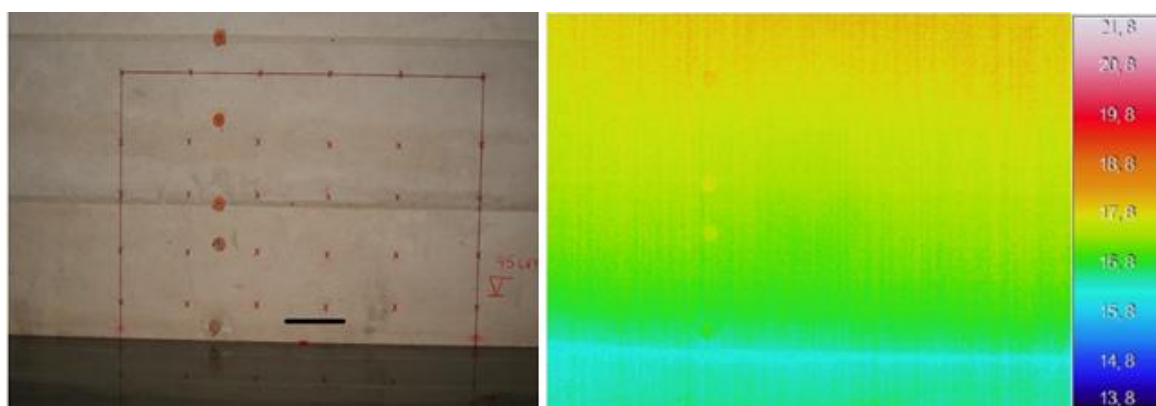


Figura 5.18 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 52 horas

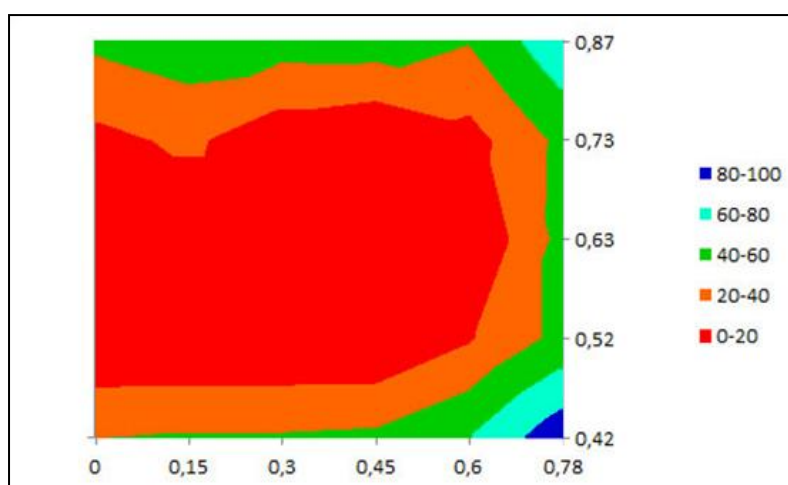


Figura 5.19 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 4 obtido para as 52 horas

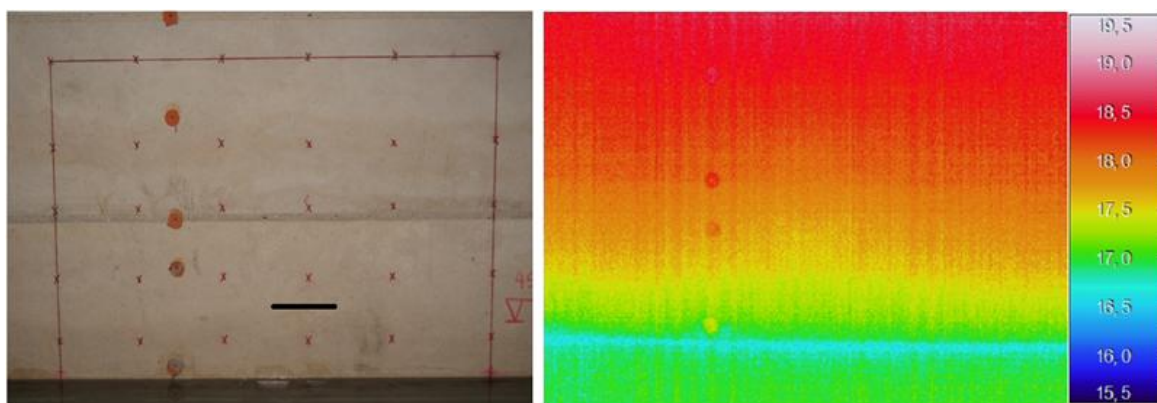


Figura 5.20 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 100 horas

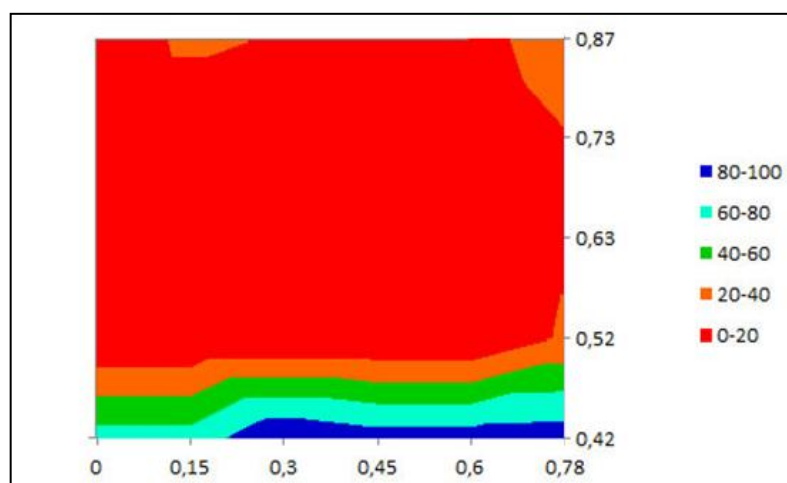


Figura 5.21 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 100 horas

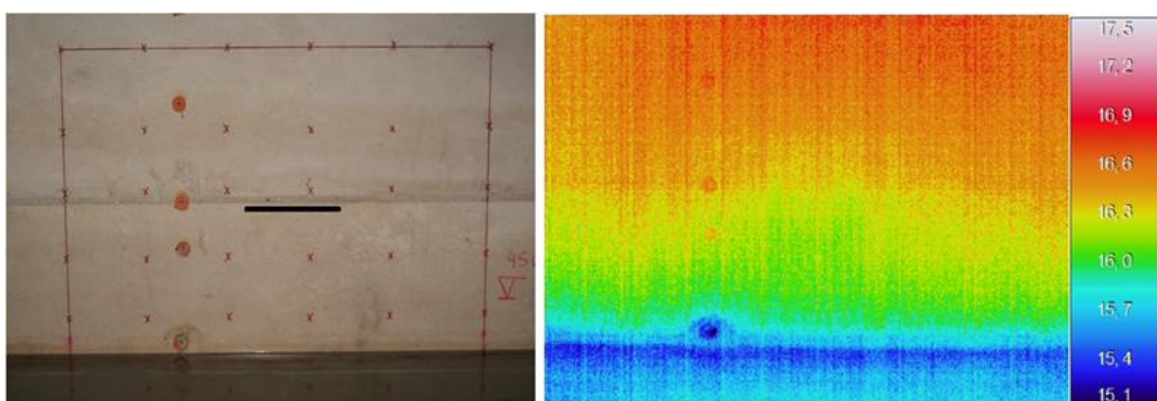


Figura 5.22 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 268 horas

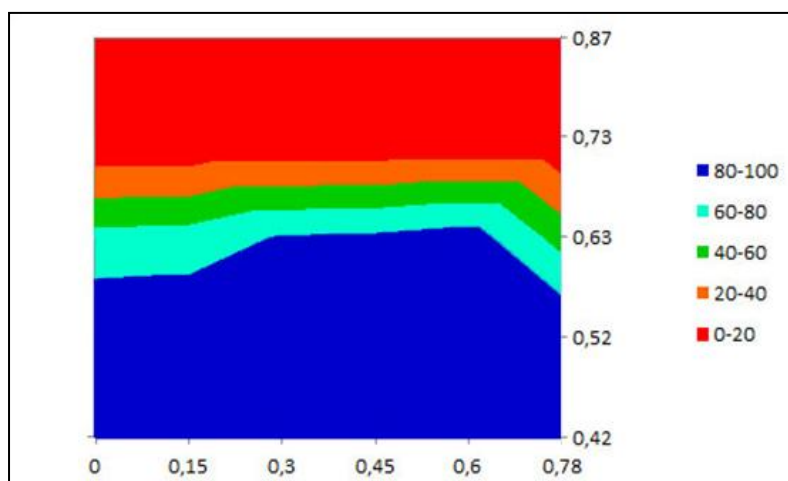


Figura 5.23 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 268 horas

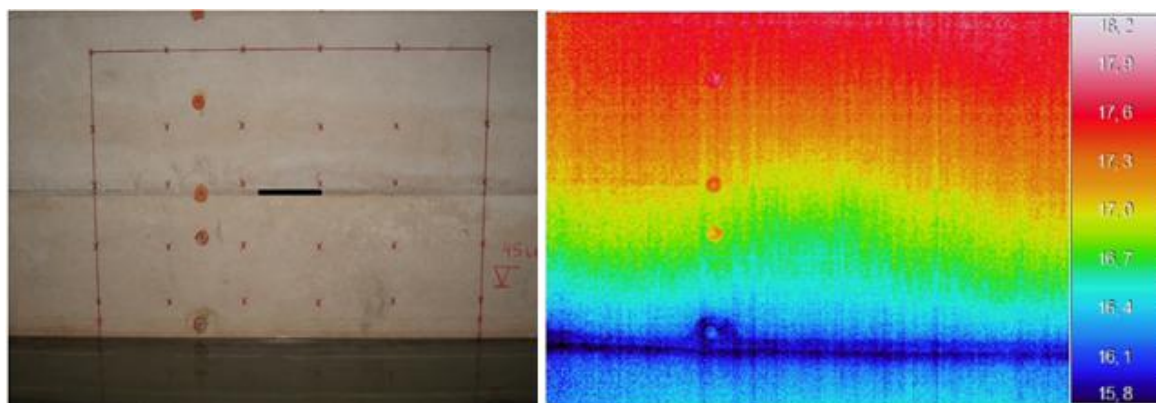


Figura 5.24 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 340 horas

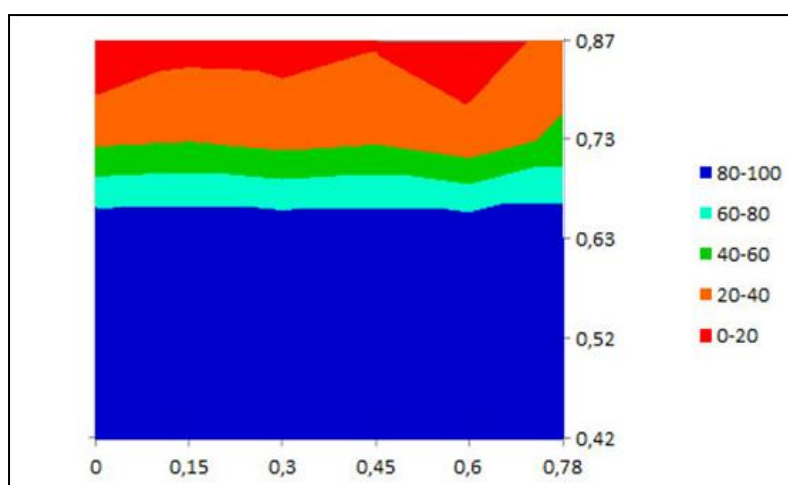


Figura 5.25 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 340 horas

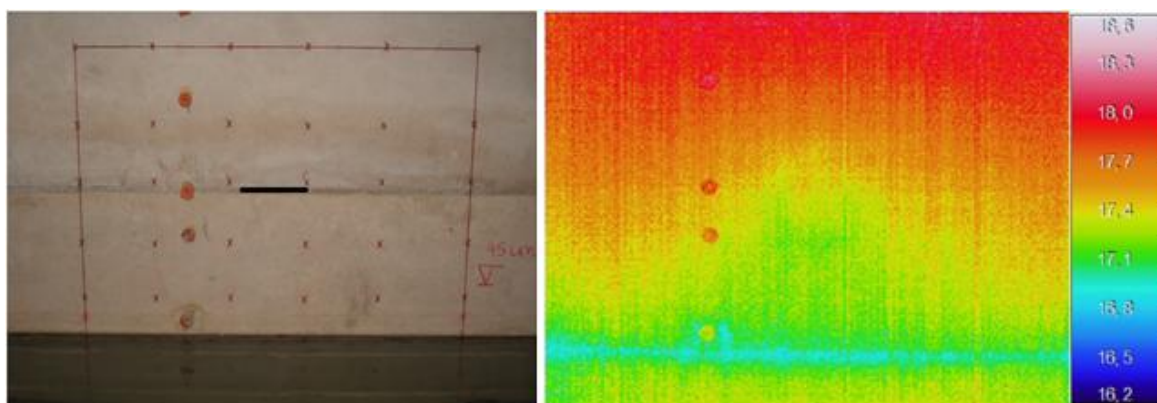


Figura 5.26 – Fotografia com a indicação do ponto máximo atingido pela ascensão capilar visível e termograma obtidos às 532 horas

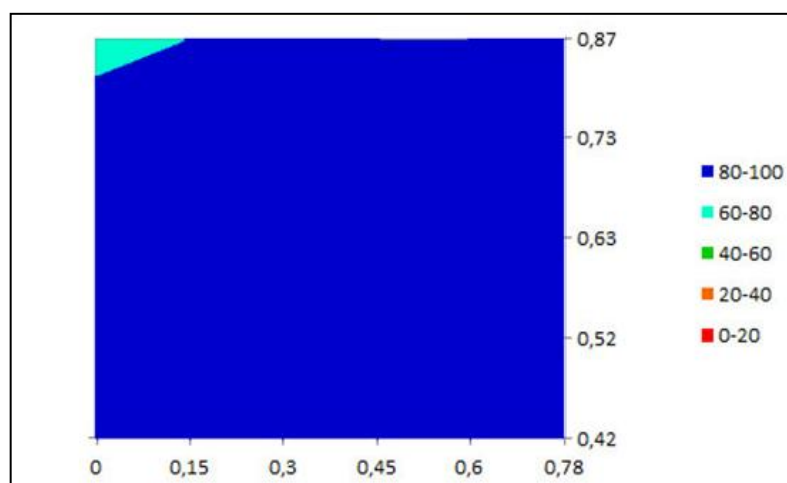


Figura 5.27 – Gráfico resultante dos valores do detetor de humidade para uma escala de sensibilidade de nível 3,5 obtido para as 532 horas

A mancha presente no provete junto ao nível da água, que se pode observar na fotografia da Figura 5.16, teve como origem o impacto das ondas provocadas no interior da tina por um ato accidental. Assim sendo, no termograma respetivo, a zona verde junto ao nível da água não corresponde à ascensão capilar, mas sim à zona do impacto.

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.17 e 5.19, obtidos respetivamente no momento inicial da embebição parcial do provete e 52 horas após, são inconclusivos relativamente ao nível de ascensão capilar no provete, porque nestas duas situações o nível de ascensão capilar visível é inferior à primeira fiada de pontos da grelha marcada no provete para as medições efetuadas com o detetor de humidade.

5.2.2.3. Apreciação dos resultados

Antes do início do ensaio, a superfície do provete já apresentava manchas resultantes de ensaios anteriormente realizados, como se pode observar na figura 5.12, o que dificultou a medição do nível de ascensão capilar visível. O facto de o provete ter sido usado em ensaios anteriores e a possibilidade

de ainda conter alguma água no seu interior, pode explicar as diferenças nos valores obtidos pelo detetor de humidade para as escalas de sensibilidade de nível 6 e 5 (escalas mais sensíveis a maior profundidade), na fase inicial do ensaio, como se pode observar no Anexo B – Parte II.2.

A mancha presente no provete junto ao nível da água, observada nas fotografias das Figuras B.4, B.5, B.6, B.7 e B.8 do Anexo B, não corresponde ao nível de ascensão capilar, mas sim ao impacto das ondas provocadas no interior da tina por um ato accidental. Esta situação influenciou os termogramas respetivos, uma vez que a zona do impacto devido ao contato que teve com a água passou a apresentar temperaturas superficiais inferiores às que apresentava antes do impacto.

O aumento do nível de ascensão capilar ocorreu a um ritmo mais lento nas primeiras 52 horas após a embebição parcial do provete e a um ritmo mais rápido entre as 52 e as 268 horas após a embebição. Entre as 268 e as 340 horas após a embebição o nível de ascensão capilar visível no provete aumentou apenas 1 cm, mantendo-se aparentemente inalterado até ao fim do ensaio. O ensaio terminou ao fim de 532 horas após a embebição parcial do provete, sem que houvesse a preocupação de avaliar se o nível de ascensão capilar visível tivesse estabilizado.

Os gráficos relativos aos valores obtidos pelo detetor de humidade são apresentados no Anexo B – Parte II.2. As medições efetuadas antes da embebição (proвете seco) e para as 0, 2, 4, 8, 28, e 52 horas após a embebição são inconclusivas relativamente ao nível de ascensão capilar no provete, porque para estes tempos de ensaio o nível de ascensão capilar visível é inferior à primeira fiada de pontos da grelha, ou seja, o nível de água ainda não pode ser detetado pelo equipamento. Os resultados obtidos para as 100, 148, 196, 268 e 340 horas após a embebição, aproximam-se bastante, na escala de sensibilidade mais adequada, do nível de ascensão capilar visível e dos termogramas obtidos para esses tempos de ensaio.

Para as 436 e as 532 horas após a embebição parcial do provete, o nível de ascensão capilar visível aparenta ter estabilizado e os respetivos termogramas são bastante semelhantes. No entanto os resultados obtidos pelo detetor de humidade aparentam não ter estabilizado, o que significa que o provete continua a absorver água. Esta situação pode ser explicada pelo facto de a absorção e evaporação estarem a ocorrer a um ritmo mais lento, que não é detetado visualmente e nem pela câmara termográfica. O detetor de humidade deteta o aumento do nível de água, uma vez que as medições são referentes ao interior do provete.

Os resultados deste ensaio diferem dos obtidos por Barreira [38] (§ 5.33) e por Teixeira [70] (configuração 1 do § 4.4.1). Para estes dois ensaios, a base do provete de pedra calcária foi colocada em contato com a água introduzida na tina (cerca de 8 cm) e o nível máximo de ascensão capilar visível foi de 43 cm ao fim de cerca de 814 horas e de 54 cm ao fim de 1400 horas, respetivamente. No presente ensaio o nível máximo de ascensão capilar visível foi de 26 cm ao fim de 532 horas. As diferenças podem estar relacionadas com as condições de ensaio, uma vez que o nível de água na tina não foi o mesmo e as condições ambiente e de impermeabilização da base do provete também diferem.

5.3. HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO (INFILTRAÇÕES)

5.3.1. 1º CASO – SALA B108 DA FEUP

5.3.1.1. Condições e procedimentos do ensaio

O estudo foi realizado numa parede da sala B108 da FEUP, onde é visível uma mancha de humidade. A Figura 5.28 apresenta a planta de uma parte do piso 1 do edifício B da FEUP, com a indicação a preto da parede analisada.

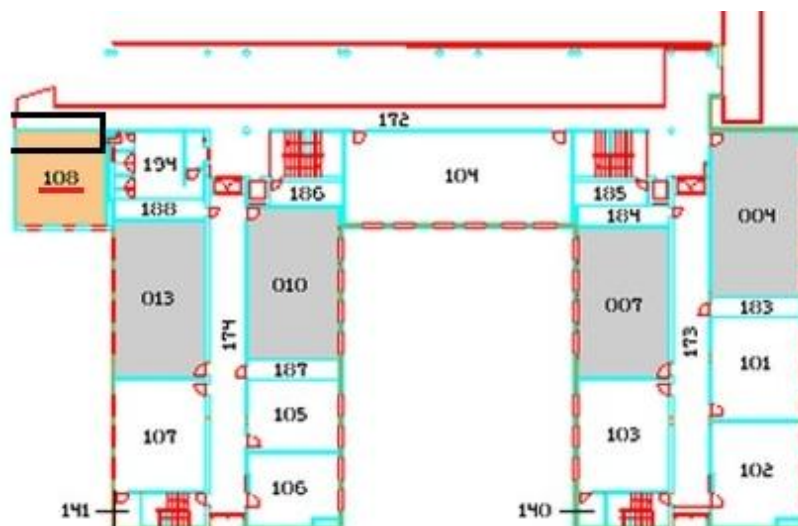


Figura 5.28 – Planta de uma parte do piso 1 do edifício B da FEUP com a indicação da parede analisada (adaptado de [71])

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento que abrange toda a zona que se pretende analisar, como demonstra a Figura 5.2;
- Para todos os pontos da grelha, usando o detetor de humidade, obtiveram-se os respetivos valores, para cada uma das escalas de sensibilidade usadas;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas da zona em análise.

5.3.1.2. Medições e observações efetuadas

Neste estudo as escalas de sensibilidade usadas correspondem às de nível 8, 7 e 6, pois verificou-se previamente que não havia necessidade de se usar outros níveis de sensibilidade.

As Figuras 5.29 a 5.34 apresentam as tabelas com os valores obtidos pelo detetor de humidade para a zona em análise, para cada escala de sensibilidade usada, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Escala de sensibilidade - 8										
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
9	2,58	100	100	74	100	100	100	100	96	66
8	2,35	83	77	56	100	100	68	83	80	43
7	2,05	80	80	68	100	93	64	86	83	38
6	1,75	54	90	100	100	54	62	93	95	25
5	1,45	52	80	80	100	92	62	100	100	60
4	1,15	54	68	66	50	80	48	100	100	22
3	0,85	54	64	52	68	92	64	90	94	34
2	0,55	46	50	48	80	42	54	68	72	22
1	0,25	60	52	100	87	100	100	60	71	23
Nível do pavimento										

Figura 5.29 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 8”

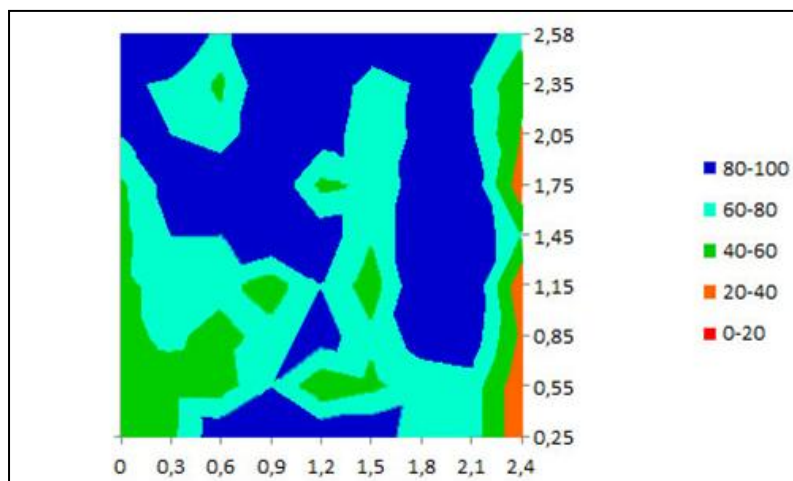


Figura 5.30 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.29

Escala de sensibilidade - 7										
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
9	2,58	72	76	47	85	98	67	65	62	38
8	2,35	53	48	28	80	70	39	51	46	16
7	2,05	48	50	42	68	58	34	55	51	12
6	1,75	26	52	58	72	30	29	59	59	0
5	1,45	22	48	48	82	60	31	64	68	32
4	1,15	23	38	34	20	48	20	63	68	0
3	0,85	24	32	23	34	58	32	53	58	8
2	0,55	18	17	21	51	14	28	37	42	0
1	0,25	34	24	100	55	92	88	32	44	10
Nível do pavimento										

Figura 5.31 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 7”

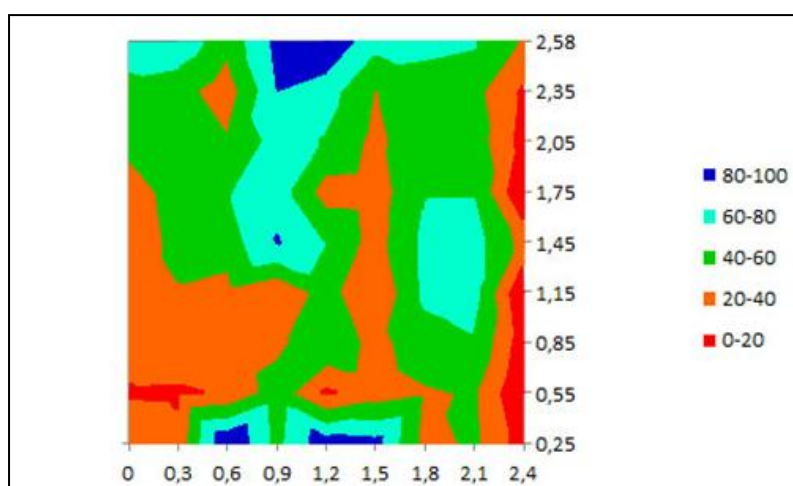


Figura 5.32 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.31

Escala de sensibilidade - 6										
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
9	2,58	25	25	0	32	42	20	19	16	0
8	2,35	3	0	0	29	22	0	5	4	0
7	2,05	8	4	0	17	12	0	8	6	0
6	1,75	0	11	16	18	0	0	12	12	0
5	1,45	0	0	0	24	14	0	16	18	0
4	1,15	0	0	0	0	0	0	14	19	0
3	0,85	0	0	0	0	8	0	8	9	0
2	0,55	0	0	0	4	0	0	0	0	0
1	0,25	0	0	50	7	22	32	0	0	0
Nível do pavimento										

Figura 5.33 – Sala B108 da FEUP - Tabela “Escala de sensibilidade de nível 6”

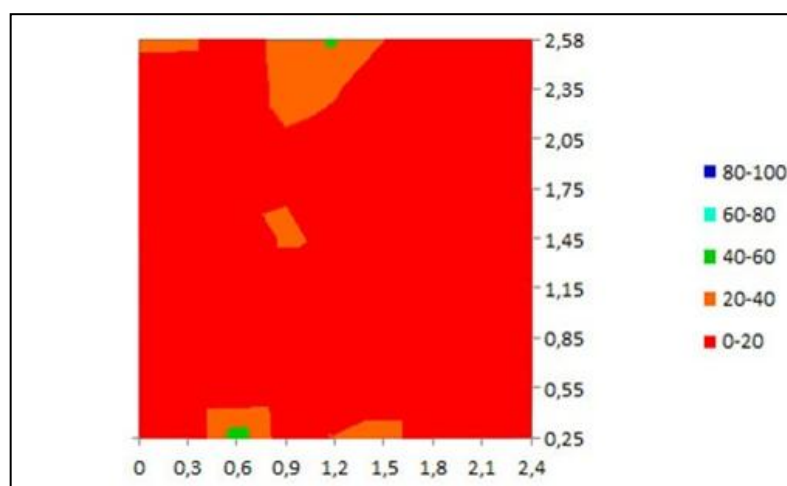


Figura 5.34 – Sala B108 da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.33

Nas Figura 5.35 e 5.36 apresentam-se dois dos termogramas tirados à zona em análise, acompanhados da respetiva fotografia. Os restantes termogramas encontram-se no Anexo C – Parte I.

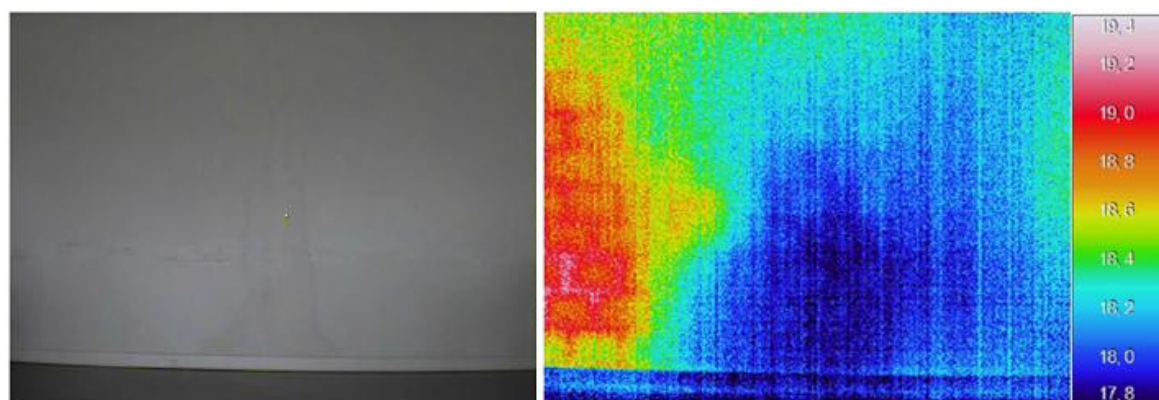


Figura 5.35 – Sala B108 da FEUP - Fotografia e termograma (parte inferior da parede)

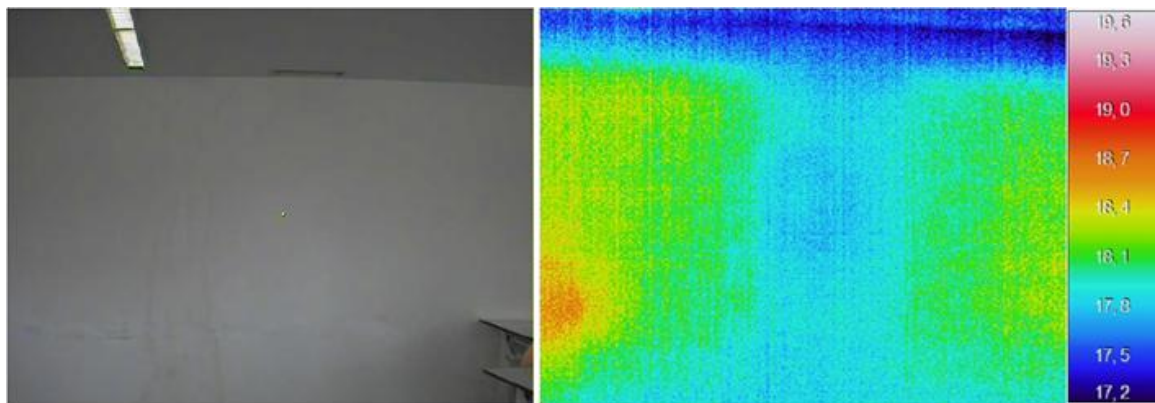


Figura 5.36 – Sala B108 da FEUP - Fotografia e termograma (parte superior da parede)

5.3.1.3. Apreciação dos resultados

Observando-se os gráficos das Figuras 5.30, 5.32 e 5.34, percebe-se que à medida que é reduzido o nível da escala de sensibilidade no detetor de humidade, estes conduzem-nos à possível localização da infiltração. Para a escala de sensibilidade de nível 6, o gráfico mostra duas zonas a verde, uma na parte superior e outra na parte inferior, deixando assim a ideia de que a infiltração possa estar localizada perto de uma destas zonas.

Os termogramas obtidos para a área analisada são pouco esclarecedores, uma vez que não se observam temperaturas mais baixas nas zonas correspondentes às identificadas no gráfico da Figura 5.34. A mancha azul claro observada no termograma da Figura 5.36 não coincide com a mancha de humidade apresentada na fotografia ao lado, mas sim com uma zona da parede com temperaturas superficiais inferiores provocadas pela grelha de ventilação.

Os gráficos relativos aos valores do detetor de humidade e os termogramas obtidos para este estudo fornecem informações úteis, mas não correspondem aos resultados esperados, uma vez que não indicam com clareza a origem da infiltração, o que pode ser explicado pelo facto de a infiltração já ter sido reparada algum tempo antes da realização do estudo e a parede já estar praticamente seca.

Sendo a zona analisada numa parede interior de uma sala do primeiro piso do edifício B da FEUP, a possibilidade da infiltração se localizar numa zona inferior da parede não faz grande sentido. No entanto, observando a Figura 5.37, uma imagem da cobertura de parte do edifício B, onde o retângulo a vermelho corresponde à zona da cobertura imediatamente por de cima da área analisada, poderá assumir-se que a mancha de humidade estudada teve como origem a entrada de água das chuvas pelas aberturas feitas na laje de cobertura para instalação dos sistemas AVAC.

O ponto mais húmido na parte inferior da Figura 5.34 pode estar relacionado com o processo de secagem da parede após a infiltração, que poderá ter sido mais lento nessa zona.



Figura 5.37 – Cobertura de parte do edifício B da FEUP

5.3.2. 2º CASO – CAFETARIA DA FEUP

5.3.2.1. Condições e procedimentos do ensaio

O estudo foi realizado numa zona da cafeteria da FEUP, onde é visível a degradação do revestimento interior. A Figura 5.38 apresenta a planta da cafeteria com a indicação a vermelho da zona analisada.

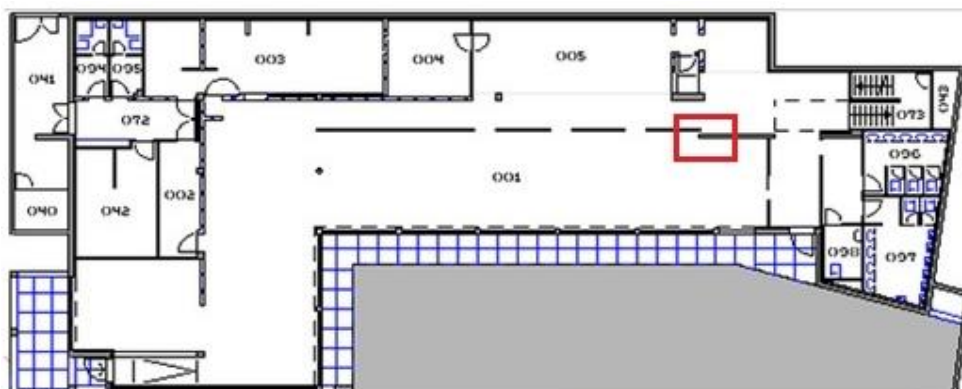


Figura 5.38 – Planta da cafeteria da FEUP com a indicação da zona analisada (adaptado de [71])

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Dividiu-se a zona a analisar em três partes, nomeadamente a parte A, B e C conforme mostra a Figura 5.39;
- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento em cada uma das partes da zona que se pretende analisar, como demonstra a Figura 5.40;
- Para todos os pontos de cada grelha, usando o detetor de humidade, obtiveram-se os respetivos valores, para cada uma das escalas de sensibilidade usadas;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas da zona em análise.

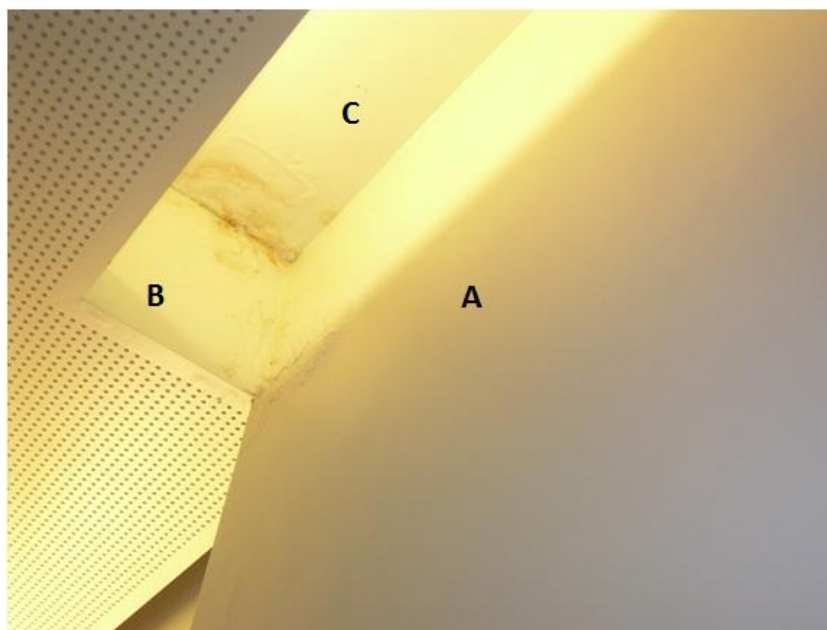


Figura 5.39 – Divisão em três partes da zona que se pretende analisar na cafeteria da FEUP



Figura 5.40 – Grelha marcada em cada uma das partes que constituem a zona a analisar na cafeteria da FEUP

5.3.2.2. Medições e observações efetuadas

Neste estudo as escalas de sensibilidade usadas correspondem às de nível 7, 6, 5 e 4, pois verificou-se numa análise prévia que níveis de sensibilidade superiores ou inferiores não originariam valores aceitáveis.

As Figuras 5.41 a 5.48 apresentam as tabelas com os valores obtidos pelo detetor de humidade para a parte A da zona em análise, para cada escala de sensibilidade usada, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Parte A_Escala de sensibilidade - 7							
Pontos		A	B	C	D	F	G
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75
6	3,27	100	100	92	100	98	84
5	3,12	100	100	100	93	100	64
4	2,97	100	100	100	100	100	88
3	2,82	100	100	100	100	100	100
2	2,67	72	100	92	94	100	100
1	2,52	46	96	99	88	100	100
Nível do pavimento							

Figura 5.41 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 7”

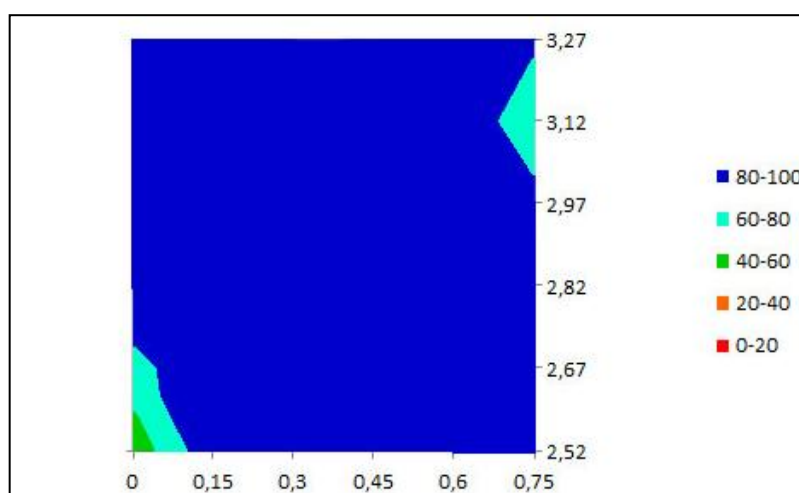


Figura 5.42 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.41

Parte A_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	F	G
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75
6	3,27	100	100	38	46	41	35
5	3,12	100	100	49	41	44	20
4	2,97	100	100	60	50	54	37
3	2,82	56	66	52	51	50	50
2	2,67	22	48	40	41	44	46
1	2,52	6	38	48	38	53	52
Nível do pavimento							

Figura 5.43 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 6”

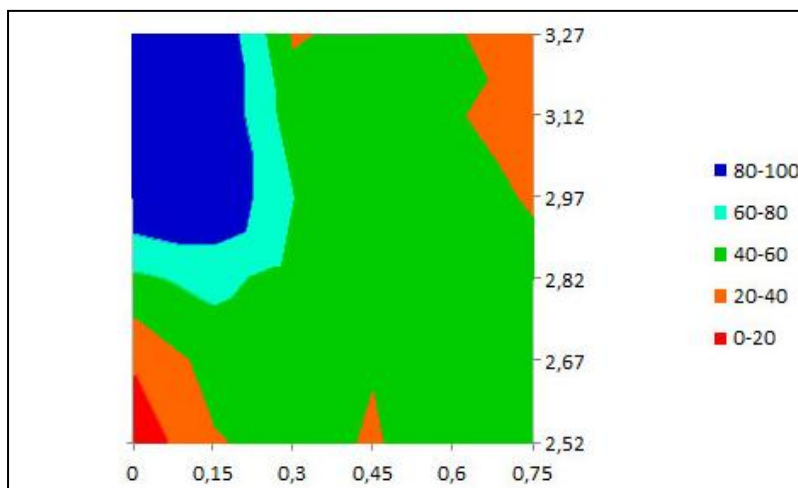


Figura 5.44 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.43

Parte A_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	F	G
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75
6	3,27	74	84	10	16	14	8
5	3,12	75	100	16	12	12	0
4	2,97	66	65	24	19	21	0
3	2,82	19	34	16	20	19	15
2	2,67	0	10	8	10	15	12
1	2,52	0	10	18	11	15	20
Nível do pavimento							

Figura 5.45 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 5”

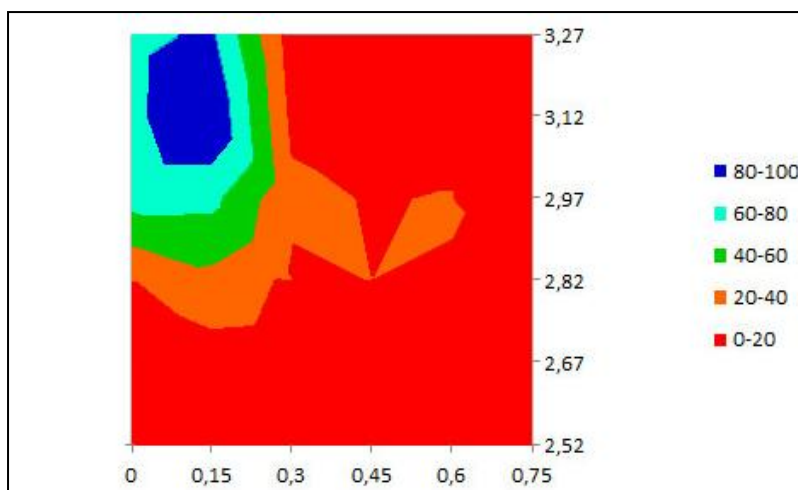


Figura 5.46 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.45

Parte A_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	F	G
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75
6	3,27	46	56	0	0	0	0
5	3,12	18	64	0	0	0	0
4	2,97	17	10	0	0	0	0
3	2,82	0	0	0	0	0	0
2	2,67	0	0	0	0	0	0
1	2,52	0	0	0	0	0	0
Nível do pavimento							

Figura 5.47 – Cafetaria da FEUP - Tabela “Parte A_Escala de sensibilidade de nível 4”

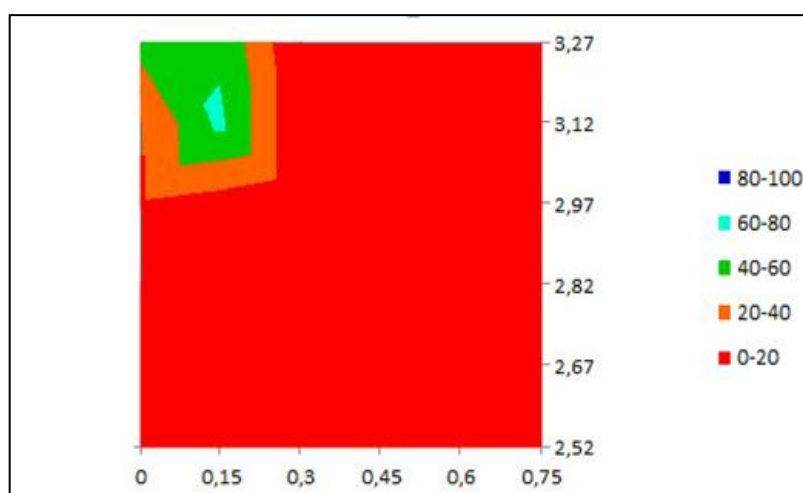


Figura 5.48 – Cafetaria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.47

As figuras a seguir apresentadas dizem respeito aos valores obtidos pelo detetor de humidade para a parte B da zona em análise, para cada escala de sensibilidade, e aos respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Parte B_Escala de sensibilidade - 7				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	3,27	14	100	58
1	3,17	100	100	85
Nível do pavimento				

Figura 5.49 – Cafetaria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 7”

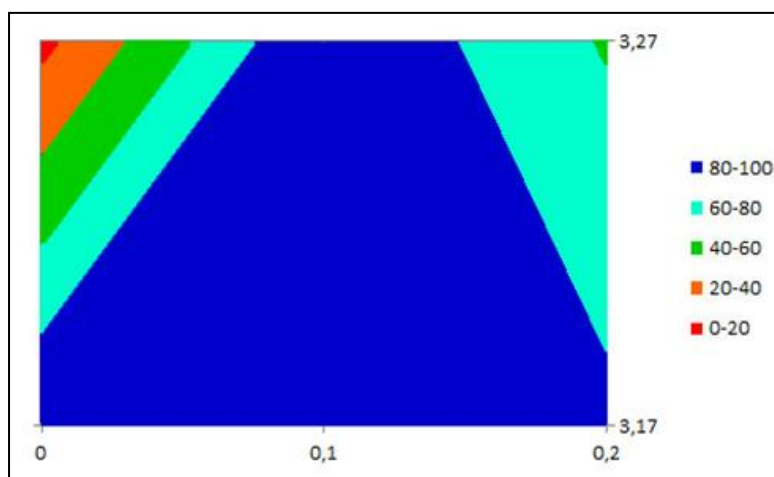


Figura 5.50 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.49

Parte B_Escala de sensibilidade - 6				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	3,27	0	67	51
1	3,17	75	100	32
Nível do pavimento				

Figura 5.51 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 6”

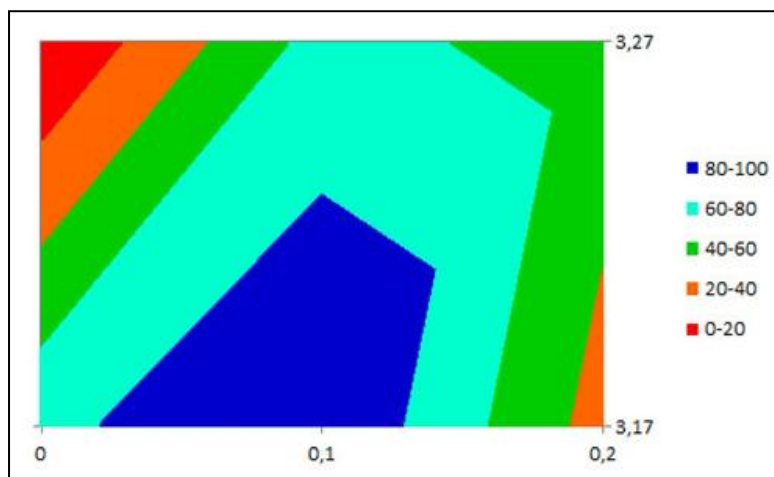


Figura 5.52 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.51

Parte B_Escala de sensibilidade - 5				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	3,27	0	36	18
1	3,17	30	100	22
Nível do pavimento				

Figura 5.53 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 5”

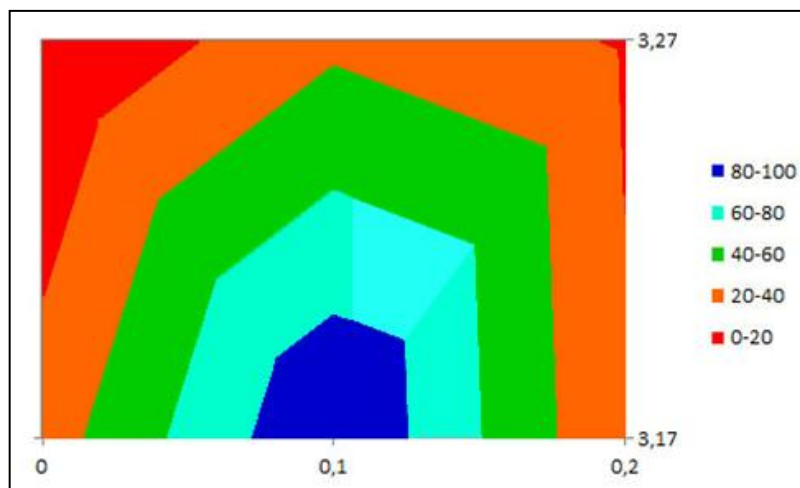


Figura 5.54 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.53

Parte B_Escala de sensibilidade - 4				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	3,27	0	0	0
1	3,17	0	45	0
Nível do pavimento				

Figura 5.55 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte B_Escala de sensibilidade de nível 4”

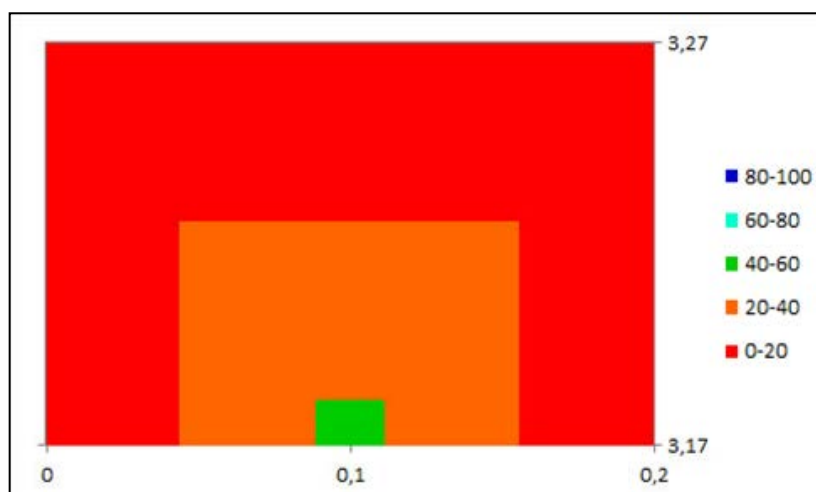


Figura 5.56 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.55

As figuras que se seguem apresentam as tabelas com os valores obtidos pelo detetor de humidade para a parte C da zona em análise, para cada escala de sensibilidade, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Parte C_Escala de sensibilidade - 7				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	0,1	100	100	0
1	0	100	100	0

Figura 5.57 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 7”

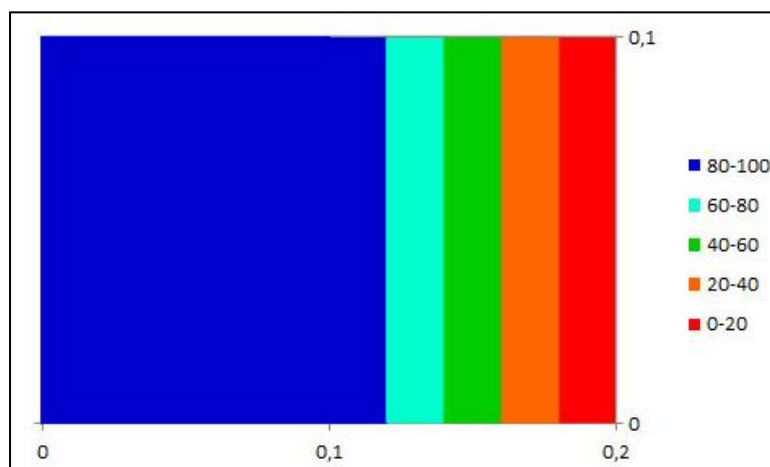


Figura 5.58 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.57

Parte C_Escala de sensibilidade - 6				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	0,1	100	100	0
1	0	100	100	0

Figura 5.59 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 6”

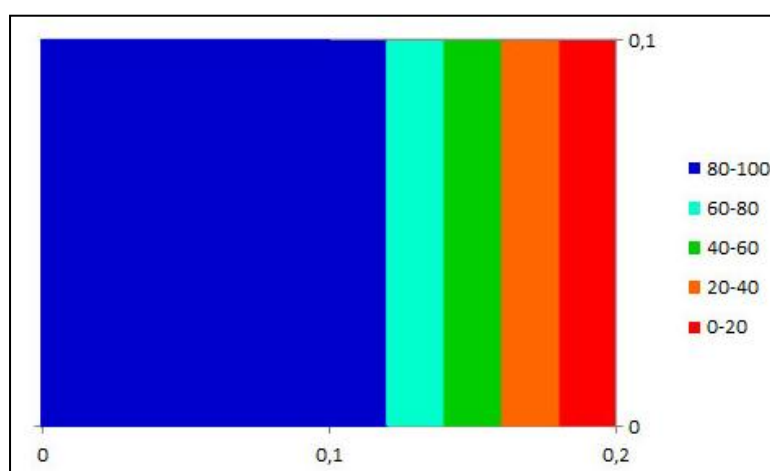


Figura 5.60 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.59

Parte C_Escala de sensibilidade - 5				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	0,1	100	100	0
1	0	60	42	0

Figura 5.61 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 5”

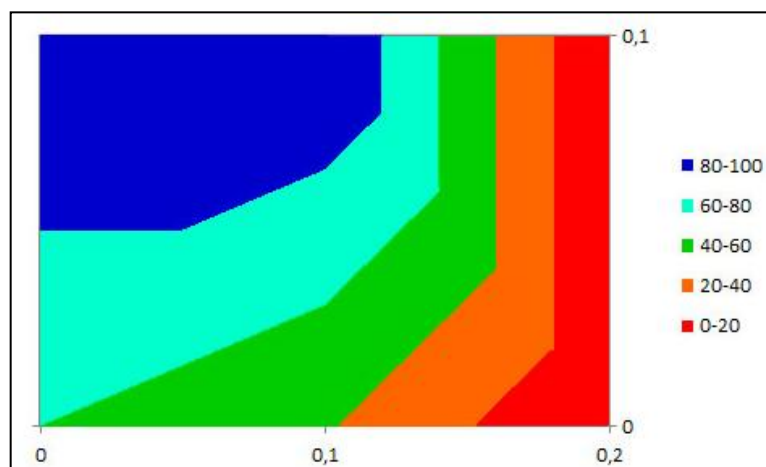


Figura 5.62 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.61

Parte C_Escala de sensibilidade - 4				
Pontos		A	B	C
		0	0,1	0,2
2	0,1	44	40	0
1	0	20	0	0

Figura 5.63 – Cafeteria da FEUP - Tabela “Parte C_Escala de sensibilidade de nível 4”

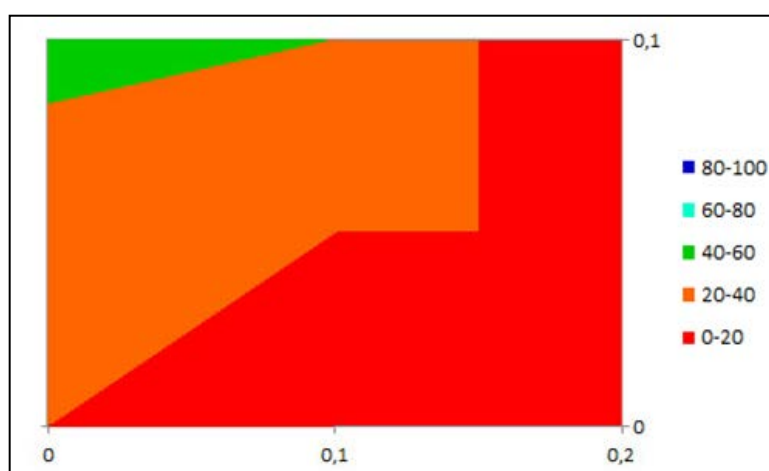


Figura 5.64 – Cafeteria da FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.63

Nas Figura 5.65 e 5.66 apresentam-se dois dos termogramas tirados à zona em análise, acompanhados da respetiva fotografia. Os restantes termogramas encontram-se no Anexo C – Parte II.

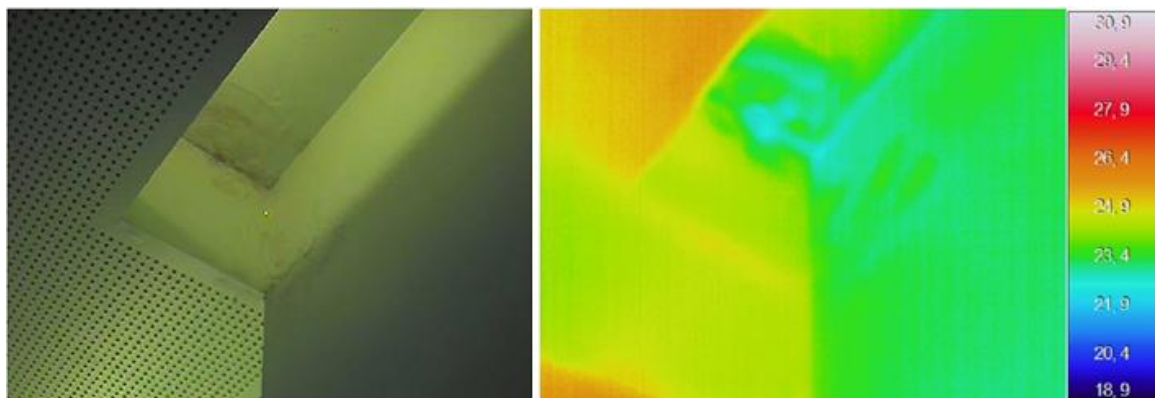


Figura 5.65 – Cafetaria da FEUP - Fotografia e termograma (vista 1)

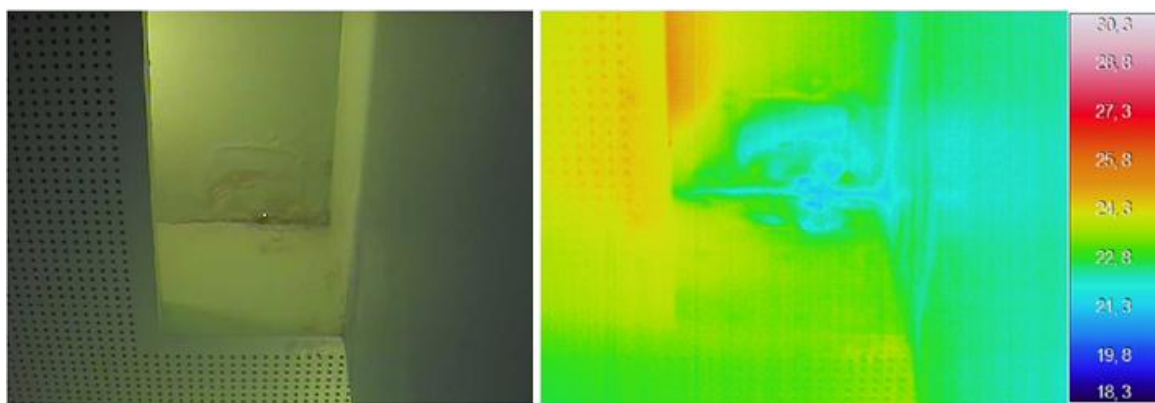


Figura 5.66 – Cafetaria da FEUP - Fotografia e termograma (vista 2)

5.3.2.3. Apreciação dos resultados

Para a parte A da zona analisada, observando os termogramas das Figuras 5.65 e 5.66, é visível uma maior incidência da cor azul claro no canto superior esquerdo, onde as temperaturas superficiais são inferiores às restantes, dando assim a entender que a infiltração possa estar aí localizada ou próxima deste sítio. Os resultados obtidos pelo detetor de humidade para a parte A confirmam que, à medida que se reduz a escala de sensibilidade, o canto superior esquerdo corresponde à zona mais húmida desta parte analisada (Figura 5.48).

Para a parte B, os termogramas das Figuras 5.65 e 5.66 e os resultados obtidos pelo detetor de humidade apresentam resultados ligeiramente diferentes. Observando-se os termogramas percebe-se que o canto superior direito apresenta temperaturas superficiais inferiores em relação a toda a parte analisada, dando a entender que a infiltração possa estar aí localizada ou numa zona próxima. Mas o gráfico da Figura 5.56, relativo aos resultados do detetor de humidade para a parte B para uma escala de sensibilidade de nível 4, mostra que a zona inferior central da parte analisada é a mais húmida. Esta diferença de resultados pode ser explicada pelo facto de existir uma lâmpada no local, posicionada do lado esquerdo e a uma altura próxima da zona central da parte B, que, estando o dia todo em funcionamento, pode provocar um aquecimento dessa zona, o aumento da temperatura superficial e

beneficiar a secagem superficial, fazendo com que nos termogramas se apresente com uma cor correspondente a temperaturas mais elevadas.

Relativamente à parte C, observando os termogramas das Figuras 5.65 e 5.66, percebe-se que o lado esquerdo da parte em análise é o que apresenta temperaturas superficiais menores, indicando que a infiltração possa estar aí localizada ou numa zona próxima. Os gráficos relativos aos valores obtidos pelo detetor de humidade para a parte C confirmam, que, à medida que se reduz a escala de sensibilidade, o lado esquerdo, mais propriamente o canto superior, é a zona mais húmida desta parte analisada (Figura 5.64).

A Figura 5.67 mostra a cobertura da cafeteria da FEUP. A zona destacada a vermelho diz respeito à cobertura imediatamente por de cima da zona analisada. Com base nos resultados do detetor de humidade, nos termogramas e na Figura 5.67 conclui-se que a degradação do revestimento interior e as manchas observadas na zona analisada tiveram como origem a entrada de água das chuvas pela zona de ligação entre a cobertura da cafeteria e as paredes envolventes da caixa de escadas que dão acesso ao interior da cafeteria.



Figura 5.67 – Cobertura da Cafeteria da FEUP

5.3.3. 3º CASO – QUARTO DE UMA HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR

5.3.3.1. Condições e procedimentos do ensaio

O estudo foi realizado em duas paredes de um quarto de um edifício de habitação multifamiliar, que apresentam degradação do revestimento interior. A Figura 5.68 apresenta a planta do apartamento com a indicação a vermelho das paredes do quarto analisadas. Optou-se por atribuir uma designação a cada uma das paredes para facilitar a apresentação e interpretação dos resultados obtidos.

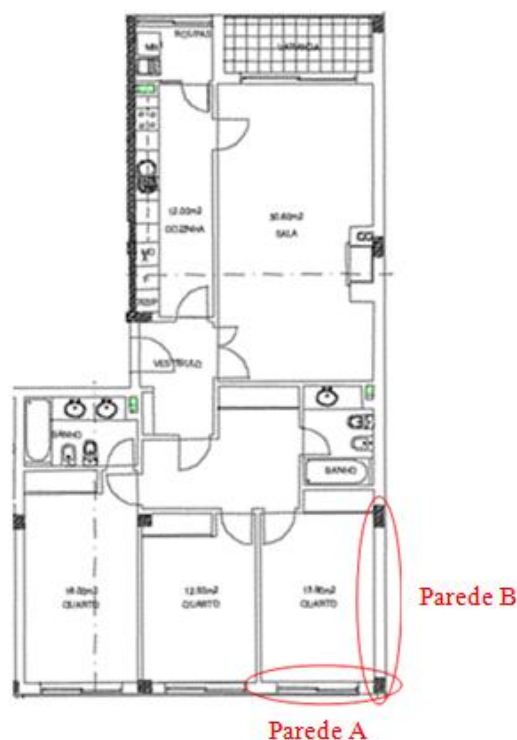


Figura 5.68 – Planta do apartamento com a indicação e designação das paredes analisadas

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento em cada uma das paredes que se pretende analisar (Figuras 5.69 e 5.70);
- Para todos os pontos da grelha, usando o detetor de humidade obtiveram-se os respetivos valores, para cada uma das escalas de sensibilidade usadas;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas das paredes em análise.



Figura 5.69 – Grelha marcada na parede A de uma habitação de um edifício multifamiliar

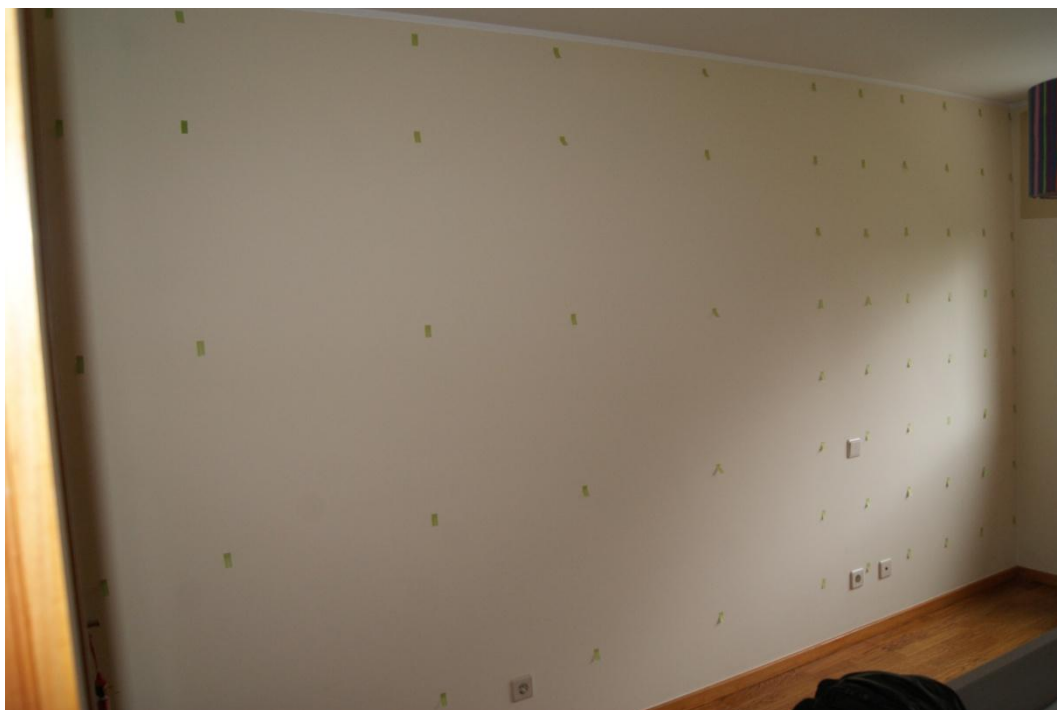


Figura 5.70 – Grelha marcada na parede B de uma habitação de um edifício multifamiliar

Para a parede B, tendo em conta o seu comprimento, optou-se por utilizar pontos da grelha menos espaçados para as zonas onde se observa degradação do revestimento e mais espaçados para as restantes zonas.

5.3.3.2. Medições e observações efetuadas

Para o estudo realizado para a parede A, as escalas de sensibilidade usadas correspondem às de nível 5, 4 e 3. As Figuras 5.71 a 5.76 apresentam as tabelas com os resultados obtidos pelo detetor de humidade para a parede A, para cada escala de sensibilidade usada, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop. Observando a Figura 5.69, é visível que a grelha é interrompida nas zonas da janela e do radiador do aquecimento central, pelo que se optou por utilizar a cor cinzenta para os pontos que correspondem a essas zonas. Desta forma, o cinzento não tem qualquer relação com o código de cores usado na composição dos termogramas e atribuído aos diferentes valores obtidos através do detetor de humidade, sendo apenas usado para marcar os espaços ocupados pela janela e pelo radiador.

Parede A_Escala de sensibilidade - 5											
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2,1	40	30							0	0
6	1,8	100	100							0	0
5	1,5	100	100							0	0
4	1,2	100	100							0	0
3	0,9	100	100	100	100	100	100	0			0
2	0,6	100	100	100	100	100	100	0			0
1	0,3	100	100	100	100	100	100	0			0
Nível do pavimento											

Figura 5.71 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 5”

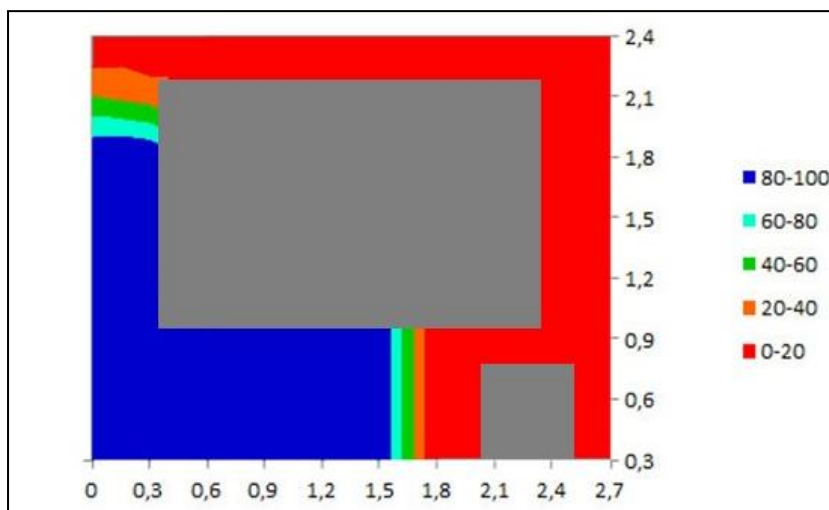


Figura 5.72 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.71

Parede A_Escala de sensibilidade - 4											
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2,1	0	0							0	0
6	1,8	100	100							0	0
5	1,5	100	100							0	0
4	1,2	100	100							0	0
3	0,9	100	83	100	100	100	100	0			0
2	0,6	100	100	100	100	100	100	0			0
1	0,3	100	100	100	100	100	100	0			0
Nível do pavimento											

Figura 5.73 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 4”

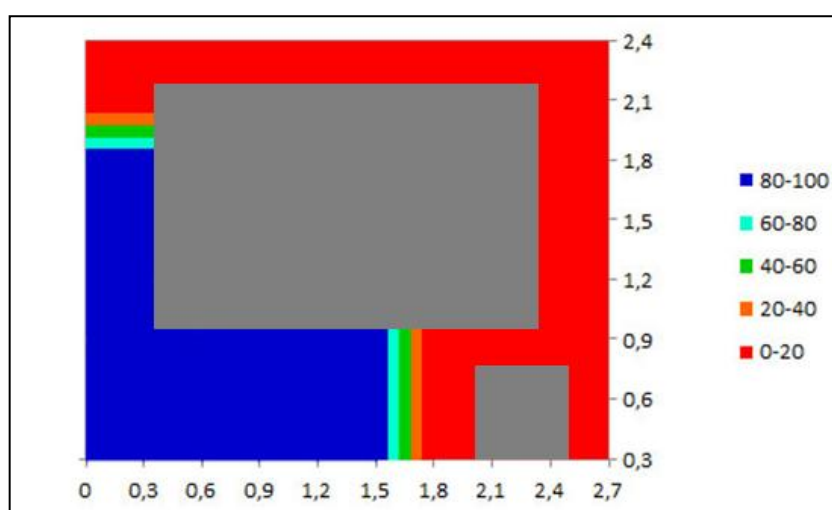


Figura 5.74 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.73

Parede A_Escala de sensibilidade - 3											
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2,1	0	0							0	0
6	1,8	18	0							0	0
5	1,5	16	0							0	0
4	1,2	20	17							0	0
3	0,9	20	0	10	0	17	0	0			0
2	0,6	30	38	34	24	24	25	0			0
1	0,3	20	22	18	26	19	30	0			0
Nível do pavimento											

Figura 5.75 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede A_Escala de sensibilidade de nível 3”

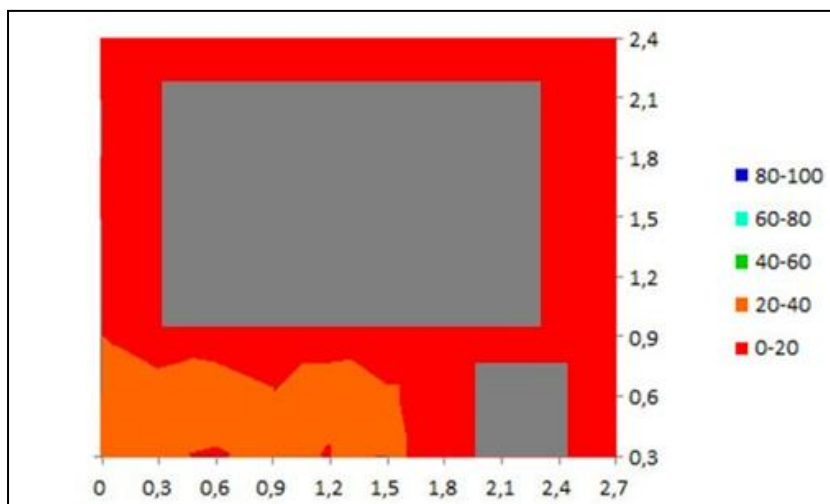


Figura 5.76 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.75

A Figura 5.77 apresenta a imagem térmica da parede A, resultante de uma montagem feita com vários termogramas obtidos para diferentes partes da parede em análise. A falta de espaço impossibilitou a obtenção de um único termograma que englobasse toda a área da parede A, pelo que foram delimitadas áreas restritas de parede, às quais foram efetuados termogramas. Os termogramas obtidos para as diferentes partes em que foi dividida a parede A, usados na montagem da Figura 5.77, encontram-se no Anexo C – Parte III.1.

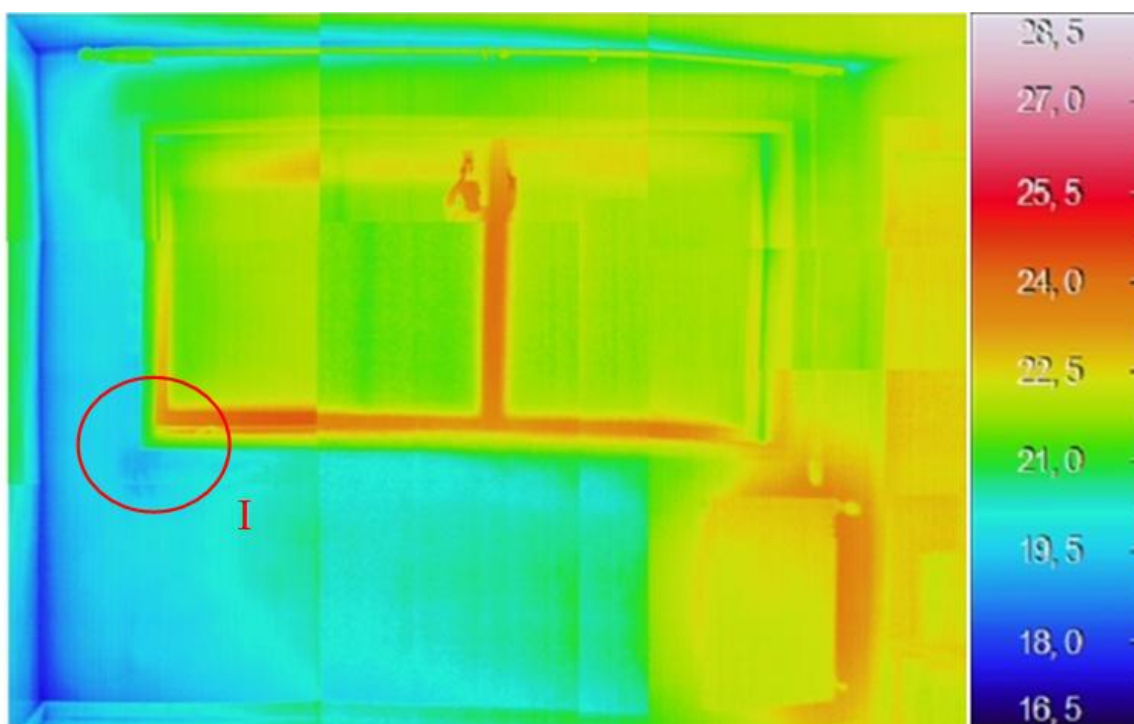


Figura 5.77 – Habitação em edifício multifamiliar - Termograma obtido para a parede A

Relativamente à parede B, as escalas de sensibilidade usadas correspondem às de nível 8, 7, 6, 5, 4 e 3. As Figuras 5.78 a 7.89 apresentam as tabelas com os valores obtidos pelo detetor de humidade para a

parede B, para cada escala de sensibilidade usada, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop.

Como se pode observar na Figura 5.70, o espaçamento vertical não é o mesmo para todos os pontos da grelha. De uma forma geral, pelas razões já referidas anteriormente, do lado direito da parede o espaçamento vertical entre pontos é de 0,30 m enquanto no lado esquerdo é de 0,60 m. Os pontos (2, A), (2, B), (2, C), (2, D), (2, E), (4, A), (4, B), (4, C), (4, D), (4, E), (6, A), (6, B), (6, C), (6, D) e (6, E) das tabelas das Figuras 5.78, 5.80, 5.82, 5.84, 5.86 e 5.88 não se encontram marcados na grelha definida na parede B (Figura 5.70), tratando-se apenas de pontos fictícios para o correto preenchimento das tabelas e obtenção dos respetivos gráficos. O valor tomado por cada um destes pontos resulta de uma média aritmética simples entre os pontos da grelha imediatamente superior e inferior, arredondado à unidade.

Parede B_Escala de sensibilidade - 8												
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k
		0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2
8	2,4	42	34	8	15	0	78	100	58	17	100	46
7	2,1	48	47	0	6	2	0	4	0	0	9	60
6	1,8	53	42	0	9	3	4	0	0	8	10	100
5	1,5	57	37	0	11	6	4	0	0	0	100	100
4	1,2	65	36	0	9	9	0	0	0	31	100	100
3	0,9	72	34	0	7	12	0	21	14	100	100	100
2	0,6	70	38	16	12	17	36	26	26	100	100	100
1	0,3	68	42	31	17	22	23	20	24	100	100	100
Nível do pavimento												

Figura 5.78 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 8”

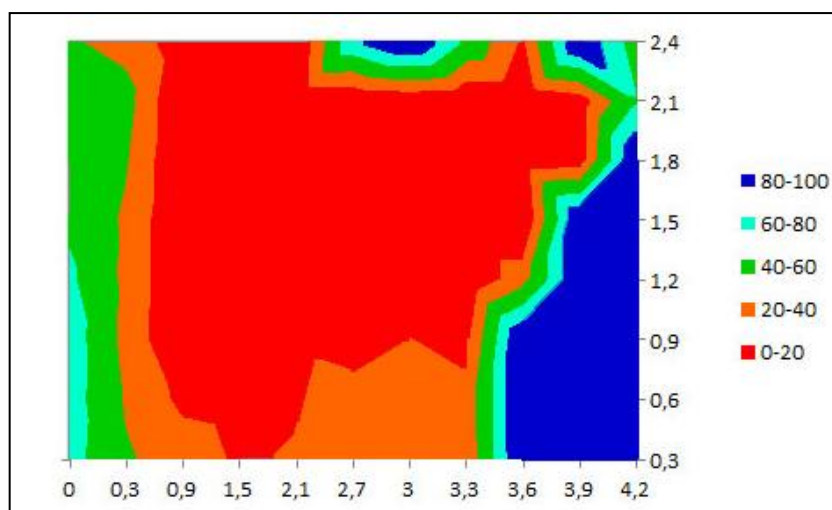


Figura 5.79 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.78

Parede B_Escala de sensibilidade - 7												
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k
		0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2
8	2,4	11	8	0	0	0	41	100	30	0	86	19
7	2,1	19	21	0	0	0	0	0	0	0	0	36
6	1,8	23	15	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	1,5	26	9	0	0	0	0	0	0	0	100	100
4	1,2	30	9	0	0	0	0	0	0	0	100	100
3	0,9	34	8	2	0	0	0	0	0	100	100	100
2	0,6	35	10	3	0	0	7	0	0	100	100	100
1	0,3	36	11	6	0	0	0	0	0	100	100	100
Nível do pavimento												

Figura 5.80 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 7”

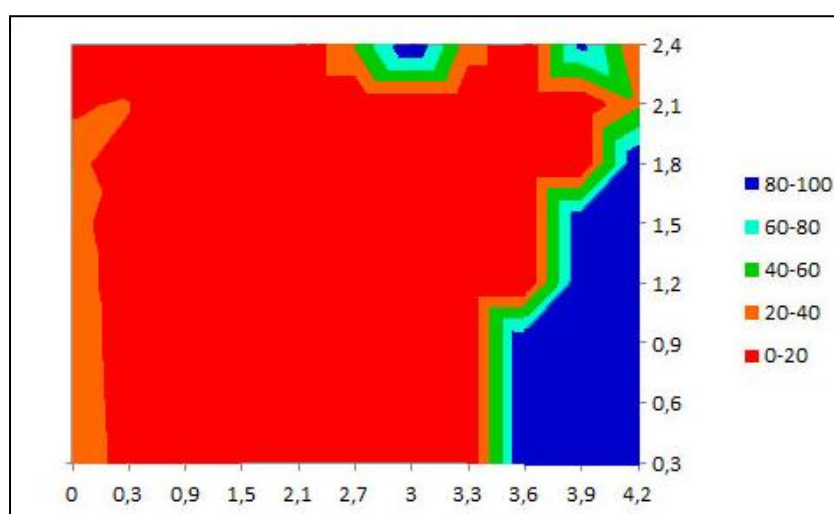


Figura 5.81 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.80

Parede B_Escala de sensibilidade - 6												
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k
		0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2
8	2,4	0	0	0	0	0	0	100	0	0	36	0
7	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	100
4	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
3	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
Nível do pavimento												

Figura 5.82 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 6”

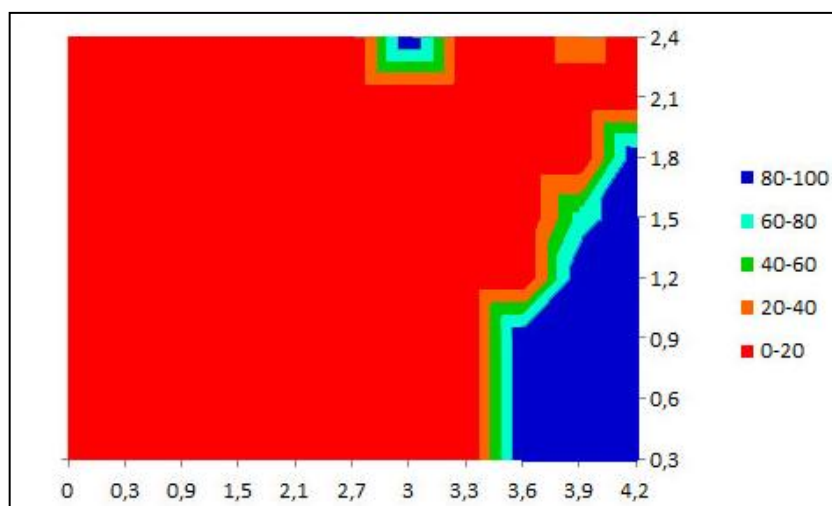


Figura 5.83 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.82

Parede B_Escala de sensibilidade - 5												
Pontos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k	
	0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	
8	2,4	0	0	0	0	0	0	50	0	0	7	0
7	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	28	100	100
4	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
3	0,9	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
Nível do pavimento												

Figura 5.84 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 5”

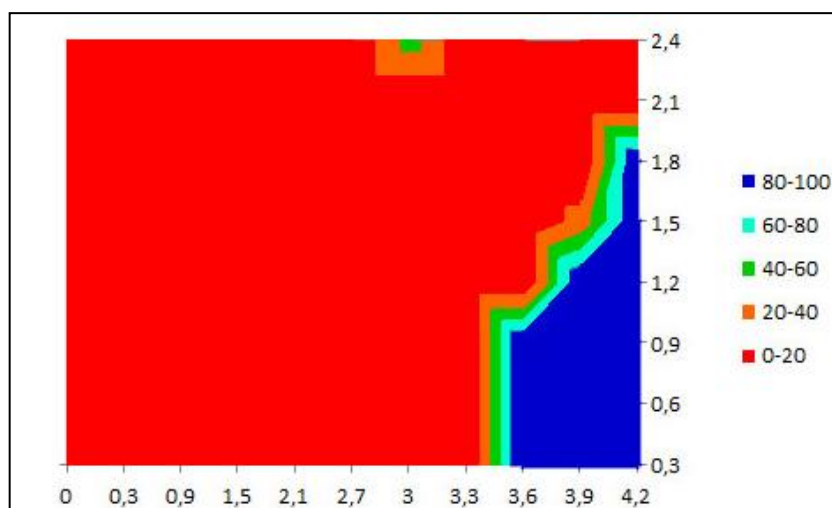


Figura 5.85 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.84

Parede B_Escala de sensibilidade - 4													
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k	
		0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	
8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
7	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
3	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0
1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0
Nível do pavimento													

Figura 5.86 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 4”

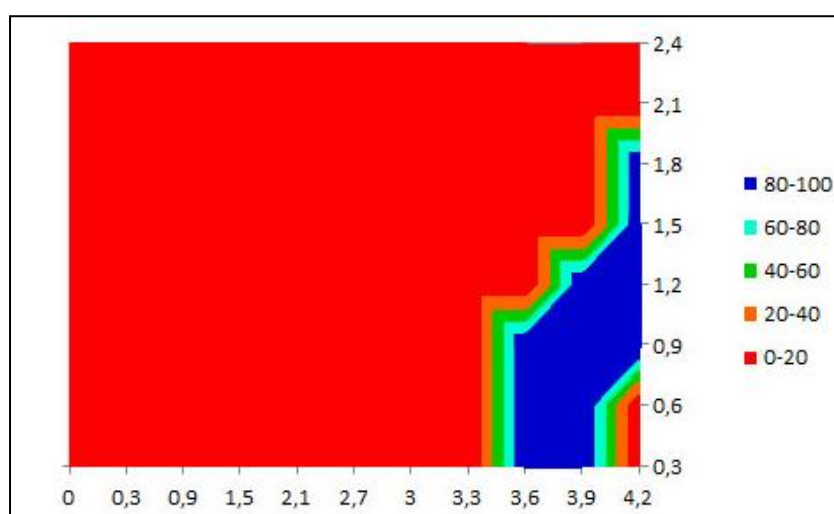


Figura 5.87 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.86

Parede B_Escala de sensibilidade - 3													
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k	
		0	0,3	0,9	1,5	2,1	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	
8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
7	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
4	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	20	20
3	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	24	24
2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	24	32	32	0
1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	39	39	0
Nível do pavimento													

Figura 5.88 – Habitação em edifício multifamiliar - Tabela “Parede B_Escala de sensibilidade de nível 3”

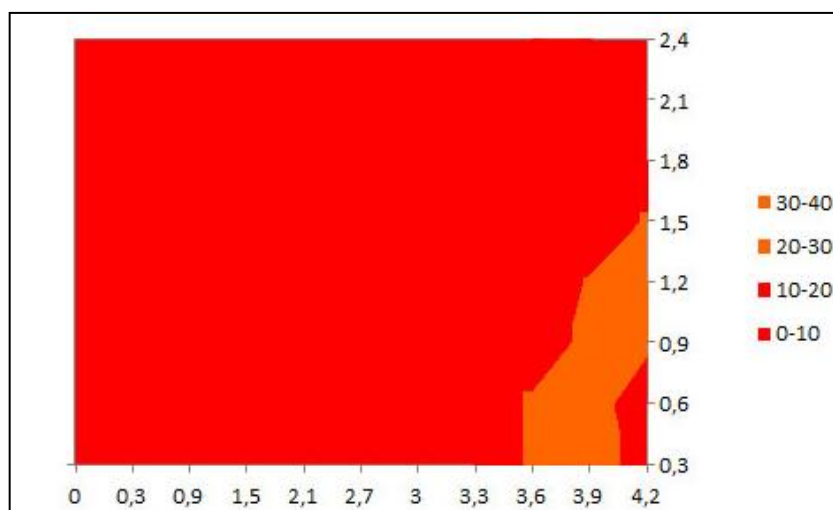


Figura 5.89 – Habitação em edifício multifamiliar - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.88

A Figura 5.90 apresenta uma montagem feita com vários termogramas obtidos para diferentes partes da parede B. Tal como para a parede A, também a falta de espaço impossibilitou a obtenção de um único termograma que abrangesse toda a área da parede B. Os termogramas obtidos para as diferentes partes da parede B, usados na montagem da Figura 5.90, encontram-se no Anexo C – Parte III.2.

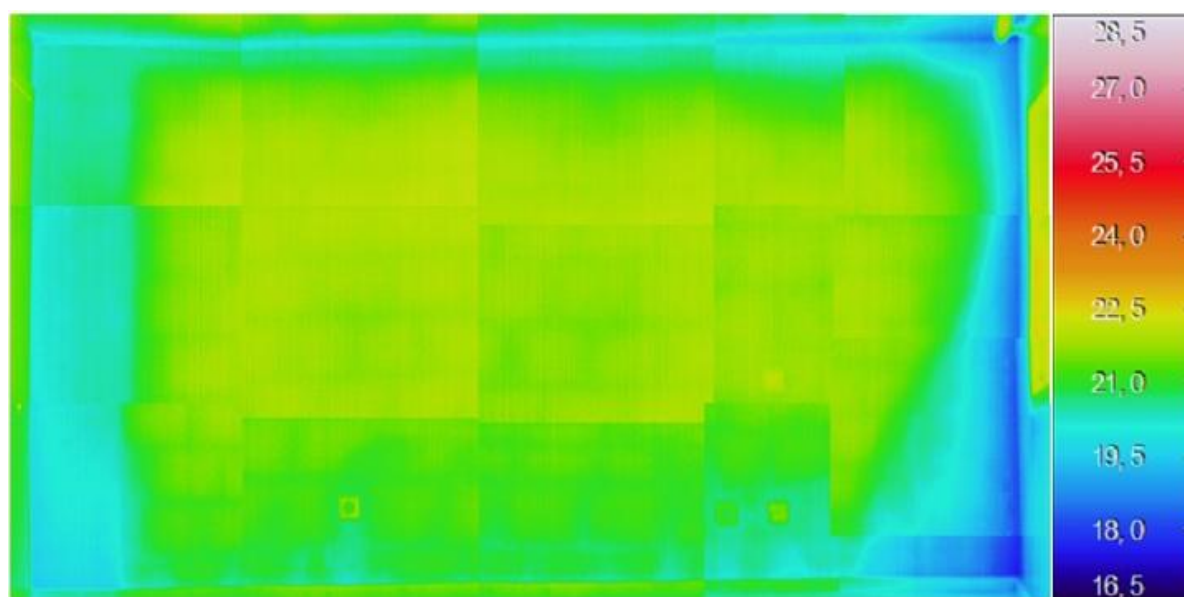


Figura 5.90 – Habitação em edifício multifamiliar - Termograma obtido para a parede B

5.3.3.3. Apreciação dos resultados

Observando o termograma da Figura 5.77, relativo à parede A, é evidente a incidência da cor azul na extremidade esquerda da parede, na parte superior da parede junto ao teto e na zona por baixo da janela. Nestas zonas, as temperaturas superficiais são inferiores às das restantes zonas da parede. Os gráficos com os resultados do detetor de humidade para a parede A mostram que a zona mais húmida da parede corresponde às áreas com temperaturas mais baixas no termograma, com exceção da zona

da parede junto ao teto, que devido à existência de um varão para suporte da cortina, não pode ser devidamente analisada.

Analisando a planta da habitação apresentada na Figura 5.68, observa-se a presença de um pilar, na extremidade esquerda da parede A, sobre o qual apoia uma viga. As áreas mais escuras do termograma na zona do cunhal e ligação parede/teto podem, por isso, corresponder à existência de pontes térmicas. Contudo, a zona I indicada na Figura 5.77 e toda a área da parede que envolve a janela do lado esquerdo e em baixo, que apresentam uma cor azul mais clara, podem resultar da existência de humidade, proveniente do exterior, o que é comprovado pela correspondência entre os termogramas e os resultados obtidos pelo detetor de humidade.

Por outro lado, uma observação atenta do peitoril durante a realização dos ensaios mostrou a deficiente execução da ligação com a ombreira, o que poderá originar a concentração de humidade no ponto I das Figuras 5.77 e 5.91.



Figura 5.91 – Habitação em edifício multifamiliar - Degradação do revestimento na parede A

Relativamente à parede B, observando o termograma da Figura 5.90, verifica-se que as temperaturas superficiais mais baixas, correspondentes à cor azul, ocorrem nas extremidades esquerda e direita da parede e na parte superior da parede junto ao teto. Na extremidade direita da parede pode observar-se uma zona a azul mais escuro, que corresponde à ponte térmica referida na análise da parede A.

Contudo, a mancha azul mais clara que se observa do lado direito da parede pode resultar da presença de humidade, afirmação que pode ser confirmada pelos resultados obtidos com o detetor de humidade.

O gráfico da Figura 5.89, que indica os valores obtidos através do detetor de humidade para a menor escala de sensibilidade, apresenta uma mancha laranja perto da extremidade direita da parede, estando toda a restante área a vermelho, o que coincide em parte com a zona a azul mais clara na extremidade direita da parede (Figura 5.90) e com a maior degradação do revestimento (Figura 5.92).



Figura 5.92 – Habitação em edifício multifamiliar - Degradação do revestimento na parede B

Analisando a parte esquerda da parede B no termograma da Figura 5.90 e considerando a planta da Figura 5.68, a diminuição de temperatura superficial pode resultar da existência do pilar, correspondendo a uma ponte térmica. As variações observadas nos gráficos das Figuras 5.79 e 5.81 no lado esquerdo da parede B resultam do facto do meio de propagação do sinal elétrico ser diferente, betão e tijolo.

5.4. HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

5.4.1. CONDIÇÕES E PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

O estudo foi realizado numa parede interior do Laboratório de Física das Construções da FEUP. A Figura 5.93 apresenta a planta do piso 0 do Edifício H da FEUP, onde se situa o Laboratório de Física das Construções, com a indicação a vermelho da parede analisada.

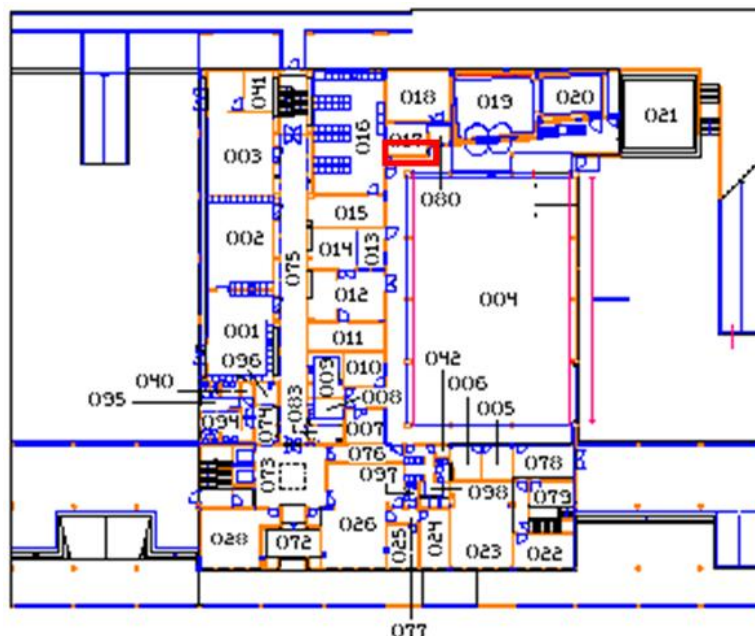


Figura 5.93 – Planta do piso 0 do edifício H da FEUP com a indicação da parede analisada (adaptado de [71])

O detetor de humidade é um aparelho que deteta humidade apenas em profundidade, nunca à superfície, logo o seu contributo neste estudo não tem grande relevância, uma vez que a molhagem foi feita por aspersão da superfície, o que não provoca alterações no teor de humidade do elemento construtivo, até porque o revestimento da parede corresponde a uma tinta plástica, relativamente impermeável à água líquida. A sua utilização tem como objetivo apenas confirmar que não existem alterações no teor de humidade no interior da parede, e apenas foi usado em três situações no decorrer do ensaio: numa fase inicial ainda com a zona seca, 2 horas após se ter molhado a parede e no fim do ensaio.

Relativamente aos termogramas efetuados, apenas o primeiro termograma é apresentado com a respetiva fotografia, indicando a zona captada pela câmara termográfica. Os restantes termogramas obtidos neste estudo são apresentados sem a fotografia, uma vez que antes do ensaio ter início, foi marcado no pavimento do Laboratório a posição do tripé, sendo a zona captada pela câmara termográfica exatamente a mesma para todos os termogramas, como se pode observar na Figura 5.94.



Figura 5.94 – Posição da câmara termográfica para a obtenção dos termogramas ao longo de todo o ensaio

O estudo foi realizado de acordo com o seguinte procedimento:

- Foi marcada uma grelha devidamente numerada e com um determinado espaçamento que delimita a zona que se pretende analisar (Figura 5.95);
- Para a zona seca, usando o detetor de humidade obtiveram-se, para todos os pontos da grelha, os respetivos valores para a escala de sensibilidade escolhida;
- Utilizando a câmara termográfica foi tirado um termograma da zona seca;
- Molhou-se, por aspersão, uma área da zona marcada na parede, como se pode observar na Figura 5.96, com três pulverizações sobrepostas;
- Recorrendo à câmara termográfica, foram tirados vários termogramas da zona em análise, sendo o primeiro obtido imediatamente após a molhagem e os restantes espaçados no tempo, até os termogramas não apresentarem alterações de cor;
- Duas horas após a zona ter sido molhada, usando o detetor de humidade obtiveram-se, para todos os pontos da grelha, os respetivos valores para a escala de sensibilidade escolhida;
- No final do ensaio, usando o detetor de humidade obtiveram-se, para todos os pontos da grelha, os respetivos valores para a escala de sensibilidade escolhida.



Figura 5.95 – Parede do LFC/FEUP - Grelha marcada delimitando a zona que se pretende analisar



Figura 5.96 – Parede do LFC/FEUP - Momento em que se pulverizou com água a zona a analisar

5.4.2. MEDIÇÕES E OBSERVAÇÕES EFETUADAS

As Figuras 5.97 a 5.102 apresentam os termogramas tirados à zona da parede em análise para diferentes períodos de tempo, nomeadamente, antes da molhagem (Figura 5.97), imediatamente após a molhagem e espaçados no tempo até a imagem no termograma estar homogénea.

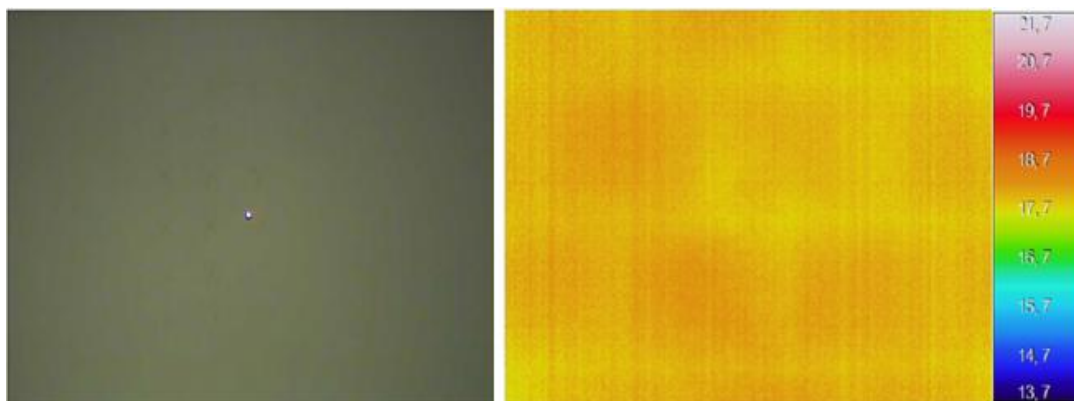


Figura 5.97 – Parede do LFC/FEUP - Fotografia da zona captada e termograma antes da molhagem

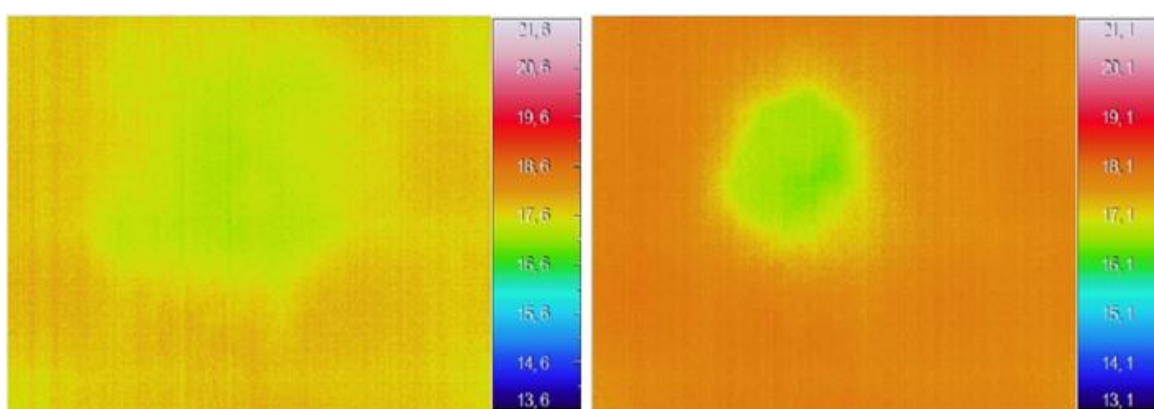


Figura 5.98 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos imediatamente após a molhagem e passados 15 minutos

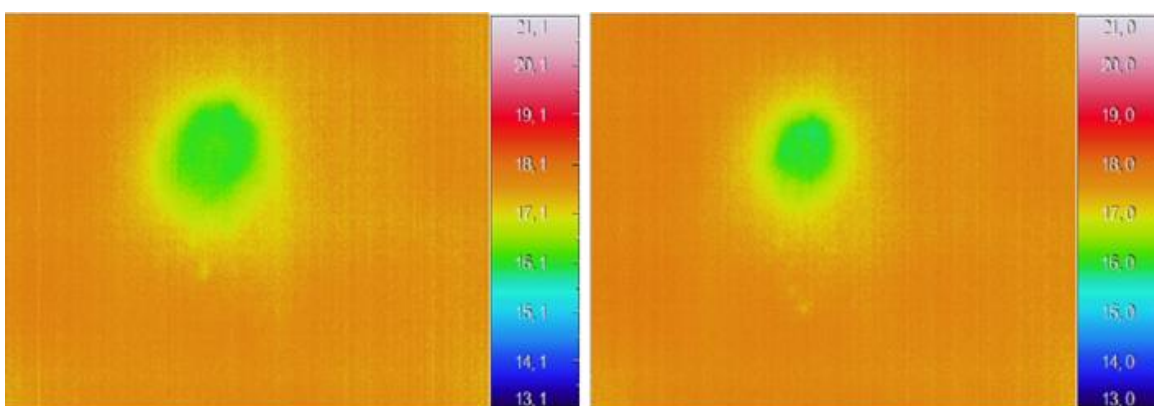


Figura 5.99 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 30 e 45 minutos após a molhagem

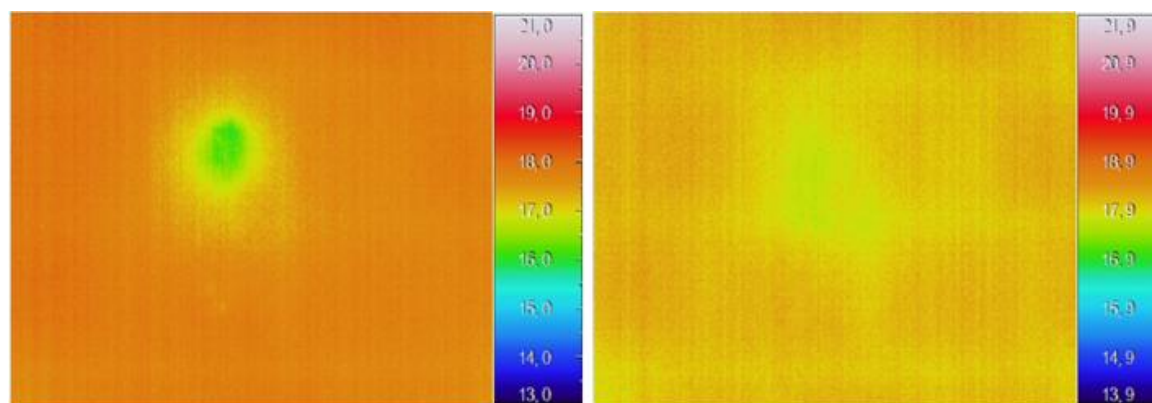


Figura 5.100 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 1 e 2 horas após a molhagem

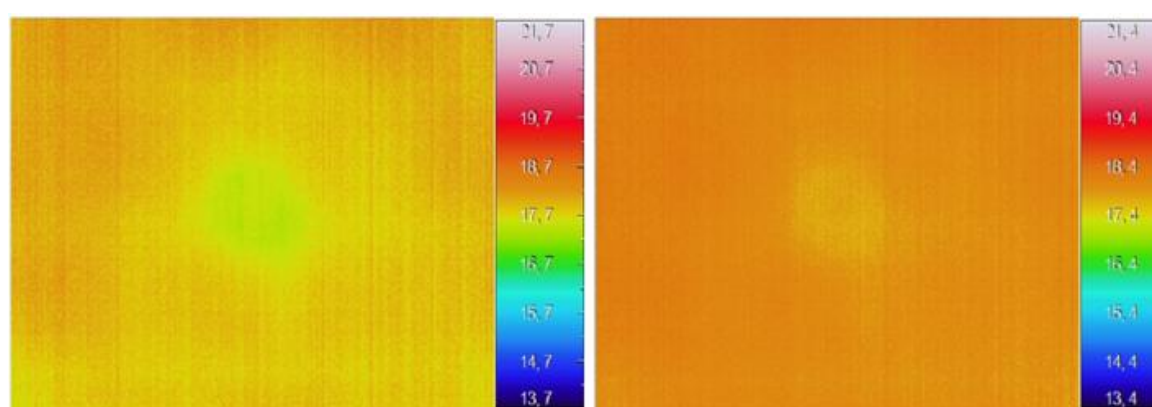


Figura 5.101 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 4 e 28 horas após a molhagem

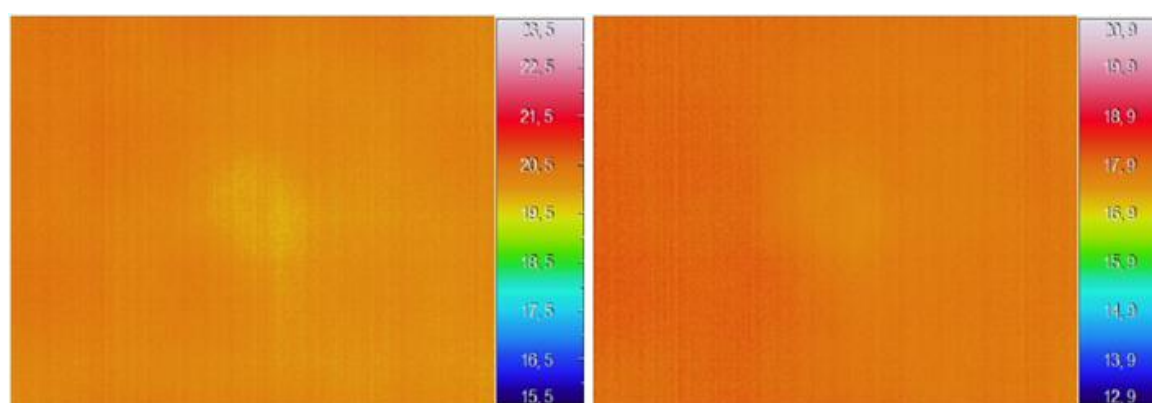


Figura 5.102 – Parede do LFC/FEUP - Termogramas obtidos 124 e 244 horas após a molhagem

Observando os termogramas é visível que nem todos apresentam a mesma tonalidade de cor de fundo, uns apresentam um laranja mais claro e outros um mais escuro. Contudo, olhando para as escalas de temperatura associadas a cada termograma, percebe-se que as diferentes tonalidades de laranja correspondem aproximadamente à mesma temperatura.

Quatro horas após se ter molhado a zona em análise, o termograma obtido já não apresentava qualquer vestígio associado à humedificação. Procedeu-se então ao aumento, na câmara termográfica, da focagem para o seu nível máximo, o que permitiu visualizar novamente a mancha provocada pela humedificação (Figuras 5.101 e 5.102).

Relativamente ao detetor de humidade, para este estudo as escalas de sensibilidade que poderiam ser usadas correspondem às de nível 8 e 7. Tendo em conta que o objetivo da utilização do detetor de humidade neste ensaio é o de confirmar que não existiram para a zona analisada alterações nos teores de humidade no interior da parede, não se considerou necessário trabalhar com as duas escalas de sensibilidade, pelo que se optou por usar apenas a escala de sensibilidade de nível 8.

As Figuras 5.103 a 5.108 apresentam as tabelas com os resultados obtidos pelo detetor de humidade para a zona em análise, para a escala de sensibilidade de nível 8, e os respetivos gráficos, depois de tratados no Photoshop. É possível verificar que não há alterações dos resultados obtidos ao longo do ensaio.

Zona Seca_Escala de sensibilidade - 8									
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,74
7	1,78	52	61	59	55	60	58	57	67
6	1,68	67	60	61	72	71	73	82	74
5	1,58	71	61	61	74	71	75	77	78
4	1,48	53	59	55	54	66	63	62	67
3	1,38	58	66	60	60	73	64	64	74
2	1,28	50	54	52	52	64	58	55	63
1	1,18	60	51	68	66	60	68	54	62
Nível do pavimento									

Figura 5.103 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 8”

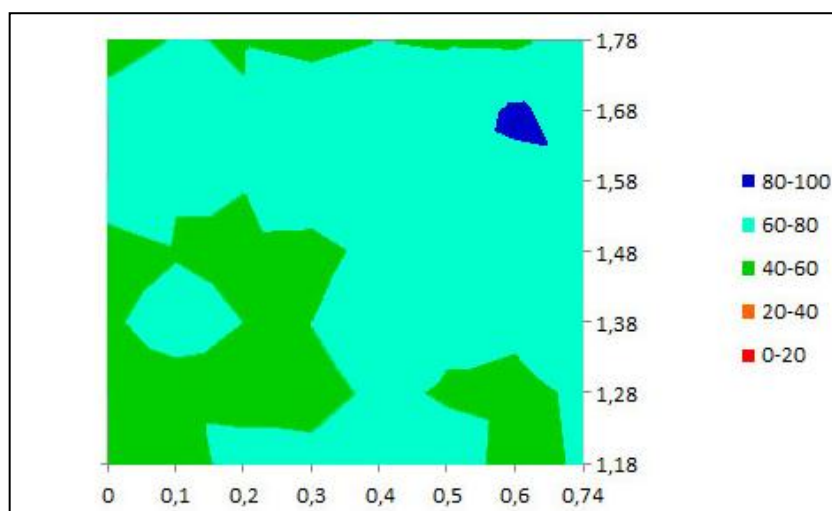


Figura 5.104 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.103

2 horas após molhagem_Escala de sensibilidade - 8									
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,74
7	1,78	54	59	56	55	60	61	56	68
6	1,68	69	59	59	70	69	74	78	76
5	1,58	70	59	61	71	69	74	82	76
4	1,48	56	60	54	55	66	63	65	67
3	1,38	60	66	60	60	74	64	65	73
2	1,28	53	53	52	53	62	57	57	64
1	1,18	62	52	68	67	60	69	54	62
Nível do pavimento									

Figura 5.105 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “2 horas após molhagem_Escala de sensibilidade de nível 8”

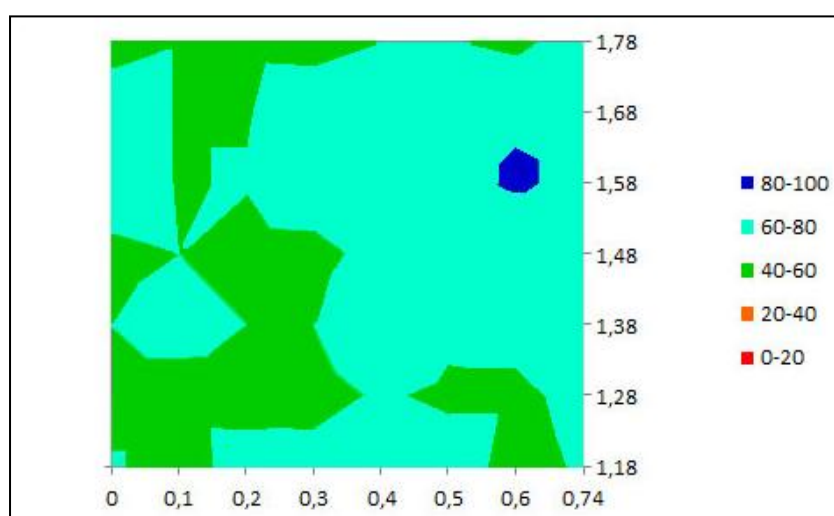


Figura 5.106 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.105

244 horas após molhagem_Escala de sensibilidade - 8									
Pontos		A	B	C	D	E	F	G	H
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,74
7	1,78	50	56	55	53	58	55	54	67
6	1,68	67	57	57	70	67	70	79	73
5	1,58	69	59	59	70	69	73	81	73
4	1,48	52	57	50	53	64	60	62	64
3	1,38	55	66	58	56	74	63	63	73
2	1,28	48	55	51	51	62	58	52	61
1	1,18	58	50	68	66	58	68	52	58
Nível do pavimento									

Figura 5.107 – Parede do LFC/FEUP - Tabela “244 horas após molhagem_Escala de sensibilidade de nível 8”

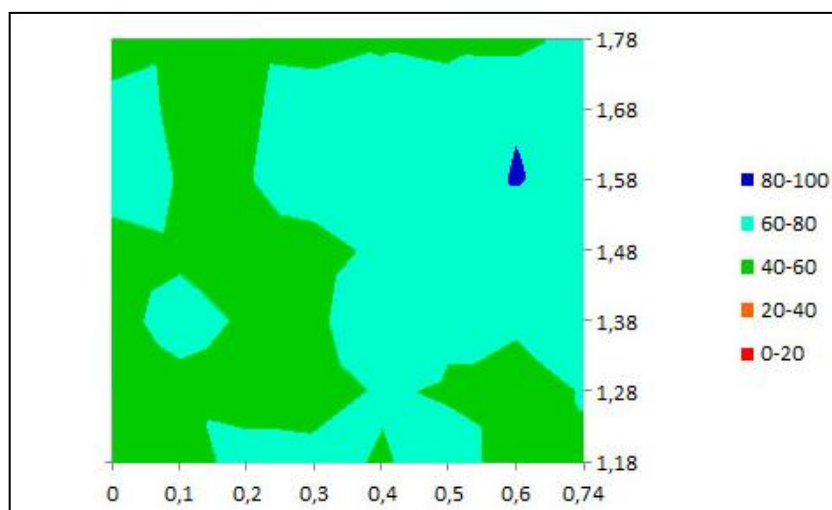


Figura 5.108 – Parede do LFC/FEUP - Gráfico correspondente à tabela da Figura 5.107

A mancha azul-escura presente no lado direito dos gráficos das Figuras 5.104, 5.106 e 5.108 não coincide com a parte pulverizada para a zona analisada e poderá resultar de uma eventual degradação da pintura da parede.

5.4.3. APRECIÇÃO DOS RESULTADOS

O ensaio deu-se por concluído ao fim de 244 horas após se ter molhado parte da zona analisada, visto que no respetivo termograma já não se observaram alterações de cor que pudessem ser associadas à humidificação. A secagem da zona molhada decorreu a um ritmo acelerado nas primeiras duas horas e a um ritmo bastante lento nas restantes horas, razão pelo qual se foi aumentando o intervalo de tempo entre termogramas.

Esperava-se que a duração do ensaio fosse bastante inferior, mas o facto das três pulverizações terem sido sobrepostas pode ter aumentado consideravelmente o tempo de ensaio.

Relativamente aos resultados obtidos pelo detetor de humidade, confirma-se através dos gráficos das Figuras 5.104, 5.106 e 5.108 que não ocorreram, para a zona analisada, alterações nos teores de humidade no interior da parede, visto que os três gráficos são bastante semelhantes.

5.5. SÍNTESE CRÍTICA

O objetivo principal dos ensaios realizados era avaliar se a termografia poderia ser utilizada para detetar humidade em elementos construtivos, resultante de causas diversas. Para tal, foram efetuados termogramas a diferentes elementos construtivos, que foram comparados com os resultados obtidos por um detetor de humidade.

Foram estudados 3 casos tipo: humidade resultante da ascensão capilar, humidade resultante de infiltrações e humidade de condensação.

Relativamente à humidade resultante da ascensão capilar, foram realizados 2 ensaios distintos:

- No caso da parede enterrada de uma garagem, os resultados da termografia não foram muito conclusivos, uma vez que não existia uma correspondência evidente e inequívoca entre os

termogramas e os resultados obtidos pelo detetor de humidade. Este facto pode dever-se ao tipo de revestimento da parede, tinta plástica bastante impermeável ao vapor, que condiciona a evaporação que é detetada pela termografia. O detetor de humidade permitiu obter resultados mais expectáveis porque a presença de água é avaliada em profundidade, não sendo afetada pelo tipo de revestimento.

- No caso do provete de pedra calcária, verificou-se haver uma correspondência entre os termogramas, os resultados do detetor de humidade e a altura da ascensão capilar detetada visualmente, pelo que, ficou comprovada a aplicação da termografia à deteção de humidade, desde que os revestimentos aplicados não sejam impermeáveis ao vapor.

Relativamente à humidade resultante de infiltrações, foram realizados 3 ensaios:

- O ensaio realizado na sala B108 da FEUP foi inconclusivo, uma vez que a parede já tinha sido tratada e estaria provavelmente seca na altura em que foi avaliada.

- No ensaio realizado na cafeteria da FEUP, a causa da infiltração ainda não tinha sido tratada, pelo que se verificou uma correspondência entre os resultados obtidos pelo detetor de humidade e os termogramas.

- Os resultados dos ensaios efetuados no edifício de habitação multifamiliar mostraram também existir uma correspondência entre os termogramas e os resultados do detetor de humidade, no entanto, a presença das pontes térmicas na zona das infiltrações dificultou a interpretação dos termogramas e a associação das temperaturas mais baixas a zonas mais húmidas.

Relativamente à humidade de condensação, os resultados demonstraram que a termografia permitiu detetar a mancha de humidade mesmo quando ela já não era visível a olho nu. Através dos termogramas foi também possível definir o período de secagem da superfície, o que nos permite concluir que a termografia poderá ser uma técnica eficaz para detetar este tipo de humidade.

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

A presença de humidade é a causa primordial de muitos problemas existentes em edifícios. Existem seis formas de manifestação de humidade, nomeadamente, a humidade de construção, ascensional, de precipitação, de condensação, devida a fenómenos de higroscopicidade e devida a causas fortuitas. A cada grupo, estão associadas possíveis causas e as respetivas anomalias, tornando assim mais fácil, a partir da observação visual ou da realização de ensaios *in situ*, associar as anomalias aos diferentes tipos de humidade e identificar as suas causas.

A termografia de infravermelhos é uma técnica não destrutiva, que converte a radiação infravermelha emitida pelos materiais em imagens térmicas visíveis, denominadas de termogramas. Esta técnica pode ser aplicada a todos os objetos, uma vez que, todos emitem radiação infravermelha, pelo facto de possuírem temperaturas superiores ao zero absoluto.

Todo o procedimento necessário até à obtenção dos termogramas é de fácil execução, porém a interpretação dos termogramas é uma tarefa delicada e por vezes complicada, visto que existem vários parâmetros que podem influenciar os resultados obtidos. A influência destes parâmetros pode conduzir a conclusões erradas na interpretação dos termogramas, se não forem detetados e eliminados antes do início da realização do ensaio. Nas situações em que estes parâmetros não podem ser eliminados, devem ser referidas as condições em que o ensaio ocorreu.

A aplicação da termografia aos edifícios permite, por exemplo, detetar zonas sem isolamento ou com isolamento deficiente, avaliar o conforto de revestimentos de pavimento, detetar fugas de ar através da envolvente opaca e das janelas, visualizar pormenores encobertos como é o caso da tubagem de pavimentos radiantes, detetar humidade proveniente de infiltrações ou fugas de água, etc.

Os ensaios experimentais realizados tinham como principal objetivo avaliar as potencialidades da termografia de infravermelhos para o diagnóstico de patologias associadas à humidade. Pretendia-se também que os resultados da termografia fossem comparados com os resultados de uma outra técnica de avaliação de humidade. Para tal, foram efetuados termogramas a diferentes elementos construtivos, que foram comparados com os resultados obtidos por um detetor de humidade. Os ensaios realizados, abordaram três formas de manifestação da humidade, nomeadamente, a humidade ascensional, de precipitação (infiltrações) e de condensação.

As principais conclusões deste trabalho foram:

- Relativamente à humidade ascensional, foram realizados dois ensaios, o primeiro efetuado numa parede enterrada de uma garagem e o segundo num provete de pedra calcária. No caso da parede enterrada de uma garagem, não se verificou uma correspondência clara entre os resultados da termografia e os resultados do detetor de humidade. Os termogramas obtidos foram pouco conclusivos, uma vez que o tipo de revestimento utilizado na parede, tinta plástica bastante impermeável ao vapor, condiciona a evaporação. O detetor de humidade permitiu obter resultados mais expectáveis, uma vez que, este equipamento deteta a presença de água em profundidade, não sendo afetada pelo tipo de revestimento. No caso do provete de pedra calcária, verificou-se haver uma correspondência entre os resultados da termografia, os resultados do detetor de humidade e a altura da ascensão capilar detetada visualmente.
- Relativamente à humidade de precipitação (infiltrações) foram realizados três ensaios, o primeiro efetuado na sala B108 da FEUP, o segundo na cafeteria da FEUP e o terceiro num quarto de uma habitação multifamiliar. O ensaio efetuado na sala B108 da FEUP não permitiu localizar a zona da infiltração, uma vez que a parede em análise já tinha sido tratada e estaria provavelmente seca na altura em que foi avaliada. No ensaio realizado na cafeteria da FEUP, verificou-se haver uma correspondência entre os resultados da termografia e os resultados do detetor de humidade, tendo sido localizada a zona da infiltração. Nos ensaios realizados no edifício de habitação multifamiliar, verificou-se haver uma correspondência entre os termogramas e os resultados do detetor de humidade, no entanto, a presença de pontes térmicas na zona das infiltrações dificultou a análise dos termogramas e a associação das temperaturas mais baixas a zonas mais húmidas.
- Relativamente à humidade de condensação, a termografia permitiu detetar a mancha de humidade mesmo quando esta já não era visível a olho nu e definir o período de secagem da superfície analisada. Os resultados do detetor de humidade serviram apenas para confirmar que não ocorreram, para a zona analisada, alterações nos teores de humidade no interior da parede, após se ter molhado, por aspersão, uma certa área da zona analisada.
- Os ensaios experimentais permitiram concluir que a termografia de infravermelhos é uma ferramenta com grande potencial para detetar a presença de humidade, desde que os revestimentos aplicados não sejam impermeáveis ao vapor.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A diversidade de aplicações da termografia de infravermelhos, associada ao facto de ser uma técnica ainda em expansão, mostram o potencial de investigação para trabalhos futuros.

Nesta área de aplicação da termografia à avaliação de patologias associadas à humidade ainda muito trabalho tem que ser realizado, nomeadamente:

- Avaliar as potencialidades da termografia em provetes em que a infiltração de água e as condições de ensaio são controladas para estabelecer procedimentos de ensaio e critérios de avaliação.
- A realização *in situ* de um número significativo de ensaios com diferentes tipos e graus de anomalias relacionadas com a humidade, em situações climáticas interiores e exteriores diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Henrique, F. M. A. *Humidade em Paredes*, LNEC, Lisboa, 2001.
- [2] Piedade, António Carlos Canha da. *Humidade em Edifícios: Uma Perspetiva Exigencial*. 6^{as} Jornadas de Construções Cívicas – Humidade na Construção, 1998, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p. 11-30, FEUP – Departamento de Engenharia Civil, Porto.
- [3] Freitas, V. P., Torres, M. I., Guimarães, A. S. *Humidade Ascensional*. FEUP edições, Porto, 2008.
- [4] Teixeira, Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães. *Caraterização Experimental do Funcionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [5] Torres, Maria Isabel Morais., Freitas, Vasco Peixoto de. *Avaliação da Eficiência da Ventilação da Base das Paredes em Função da sua Espessura no Tratamento de Humidades Ascensionais*. 2^o Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2006 (Vasco Peixoto de Freitas., Vitor Abrantes., César Díaz Gómez., ed), Março de 2006, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, vol. I, p. 369-378, FEUP, Porto.
- [6] Silva, J. Mendes da., Abrantes, Vitor. *Patologia em Paredes de Alvenaria: Causas e Soluções*. Seminário de Paredes de Alvenaria (P.B. Lourenço et al., eds.), Novembro de 2007, Lisboa: LNEC, p. 65-84, LNEC, Lisboa.
- [7] <http://www.tratamentodehumidades.pt/diagnostico.php>. Março de 2013.
- [8] Duarte, João Pedro Sequeira Rodrigues Ferreira. *Condensações Superficiais Interiores: Avaliação do Risco*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [9] Freitas, Vasco Peixoto de., Pinto, Paulo da Silva. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas*. Nota de Informação Técnica – NIT_002. LFC/FEUP, Porto, 1998.
- [10] Pinto, Alexandra Catarina Ferreira. *Análise das Condições Higrotérmicas em espaços da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.
- [11] Ramos, Nuno M. M., Freitas, Vasco Peixoto de. *Análise do Impacto das Práticas Construtivas Atuais nos Níveis de Humidade do Ar Interior*. 2^o Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2006 (Vasco Peixoto de Freitas., Vitor Abrantes., César Díaz Gómez., ed), Março de 2006, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, vol. I, p. 359-368, FEUP, Porto.
- [12] Azevedo, Simão Cabanita de. *Influência do Teor de Água no Comportamento de Materiais de Construção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [13] Freitas, V. P., Barreira, E. S., Gonçalves, P. F. *Patologias associadas a condensações*. 1^o Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2003 (Vasco Peixoto de Freitas., Vitor Abrantes), Março de 2003, p. 137-150, FEUP, Porto.
- [14] Kreith, Frank; Bohn, Mark S. *Princípios de Transferência de Calor*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003.

- [15] Incropera, Frank P.; DeWitt, David P. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa* (5.^a edição). LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2003.
- [16] Chapman, Alan J. *Transmisión del Calor* (3.^a edición). Librería Editorial Bellisco, Madrid, 1990.
- [17] Bird, R. Byron; Stewart, Warren E.; Lightfoot, Edwin N. *Fenómenos de Transporte* (2.^a edição). LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2004.
- [18] Tipler, Paul A. *Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica* (4.^a edição, Volume 1). LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2000.
- [19] Fraga, Anderson S.; Tavares, Marcos R.; Martins, Kleber; Rossi, Felipe. *Ensaís Não Destrutíveis – Termografia*. Outubro de 2009.
<http://pt.scribd.com/doc/21565850/Ensaaios-nao-Destrutivos-Termografia>. Junho de 2013.
- [20] Rodrigues, Edmundo. *Conforto Térmico das Construções – Processos de Transmissão de Calor* (Cap.2). (s.d.).
http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf. Junho de 2013.
- [21] Barreira, Eva. *Degradação Biológica de Fachadas com Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior devido ao Desempenho Higrotérmico*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [22] Pinto, Ana Raquel Pinto Coelho de Taveira e. *Influência do Clima nas Condensações Superficiais Exteriores em Fachadas Revestidas com ETICS*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [23] Gaussorgues, Gilbert. *La thermographie infrarouge – Principes, Technologies, Applications* (4.^a edição). Editions TEC & DOC, Paris, 1999.
- [24] Gonçalves, Tiago Miguel Alves. *Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Eléctricas com Recurso a Termografia*. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [25] Sousa, Luís Filipe Rodrigues de. *Aplicação da Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2010.
- [26] <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12049>. Junho de 2013.
- [27] Mario, Mauro. *Uso da Termografia como Ferramenta não destrutiva para Avaliação de Manifestações Patológicas Ocultas*. Dissertação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- [28] Santos, Caroline Mendez R. Mendonça dos; Voll, Laila Gozzer. *O Emprego da Termografia na Inspeção Preditiva*. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, 2012, vol. II, n.1, p. 113-119, Essentia Editora, Rio de Janeiro.
- [29] <http://www.politerm.com.br/Produto-PRODUTOS-Termometros-Termometro-Infravermelho--20-1500C-POL-07A-versao-95-95.aspx>. Junho de 2013.
- [30] <http://www.cedesa.com.mx/fluke/camaras-termograficas/camaras-termograficas/Ti32/>. Junho de 2013.
- [31] <http://www.infratemp.com.br/produto.asp?id=14>. Junho de 2013.

- [32] Faria, Luísa Manuel Inocêncio Teixeira de. *Aplicação da Termografia ao Diagnóstico de Edifícios*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [33] Oliveira, Tiago Miguel Dias. *Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a Termografia*. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [34] Melo, Artur Gianini Bezerra de. *Inspecção em Juntas Coladas de Tubos feitos por Compósitos por Termografia Ativa Pulsada*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia de Inspecção de Equipamentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- [35] Pedra, Solange Andere. *Potencialidades da Termografia Infravermelha aplicada ao Design do Conforto Térmico de Alvenaria Estrutural*. Dissertação de Mestrado em Design, na área de concentração em Design, Inovação e Sustentabilidade, Universidade do Estado de Minas Gerais, 2011.
- [36] Cortizo, Eduardo Cabaleiro. *Avaliação da Técnica de Termografia Infravermelha para Identificação de Estruturas Ocultas e Diagnóstico de Anomalias em Edificações: Ênfase em Edificações do Património Histórico*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- [37] Infratemp – Soluções para Processos Industriais (2010). *Termometria Infravermelha – Teoria Básica*.
<http://www.infratemp.com.br/imagensDinamica/comofunciona/1412011090301.pdf>. Junho de 2013.
- [38] Barreira, Eva. *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [39] Teixeira, Guilherme Gonçalves Dias. *Confiabilidade Metrológica em Termografia aplicada em Sistemas Elétricos*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- [40] Dinis, Bernardete. *Termografia aplicada à Física das Construções*. Monografia de Licenciatura em Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, 2009.
- [41] Brioschi, Marcos Leal; Yeng, Lin Tchia; Teixeira, Manoel Jacobsen. *Diagnóstico Avançado em Dor por Imagem Infravermelha e Outras Aplicações*. Revista Prática Hospitalar, n. 50, Março-Abril de 2007, p. 93-98, Office Editora e Publicidade Ltda., Curitiba.
- [42] ITEAG. *Termografia: Teoria, Procedimentos e Vantagens*. Portugal. 2010.
<http://www.iteag.net/termografia.pdf>. Junho de 2013.
- [43] Aldeias, Ana Isabel. *Termografia Infravermelha. Métodos Experimentais em Energia e Ambiente*. Lisboa, IST, 2003. <http://in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/03slides/apres8.pdf>. Junho de 2013.
- [44] FLIR Systems. *FLIR APPLICATION STORY: Inspecting wind turbines with FLIR thermal imaging cameras*. FLIR Commercial Systems B.V., Breda, Netherlands.
<http://support.flir.com/appstories/AppStories/Electrical&Mechanical/Wind%20turbine%20inspections.pdf>. Junho de 2013.
- [45] <http://www.peritagemdeedificios.com/termografia.html>. Junho de 2013.

- [46] Barreira, E.; de Freitas, V.P. *Evaluation of building materials using infrared thermography*. Construction and Building Materials, 2007, vol. 21, n. 1, p.218-224.
- [47] Balaras, C.A.; Argiriou, A.A. *Infrared thermography for building diagnostics*. Energy and Buildings, 2002, vol. 34 (2), p. 171–183.
- [48] Cerdeira, F.; Vázquez, M.E.; Collazo, J.; Granada, E. *Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes*. Energy and Buildings, 2011, vol. 43, n. 8, p. 1845-1851.
- [49] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). *Aplicação laboratorial de técnicas e de ultra-sons na deteção de deslocamentos localizados dos revestimentos numa parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida*. Relatório 88/2003 – NRI. Lisboa, LNEC, 2003.
- [50] Rosina, E.; Ludwig, N. *Optimal thermographic procedures for moisture analysis in building materials*. In: Proceedings of Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE), 1999, vol. 3827, p. 22-33.
- [51] ASTM. *ASTM C1153 - 10 Standard practices for location of wet insulation in roofing systems using infrared imaging*. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, 2010.
- [52] Avdelidis, N.P.; Moropoulou, A.; Theoulakis, P. *Detection of water deposits and movement in porous materials by infrared imaging*. Infrared Physics & Technology, 2003, vol. 44, n. 3, p. 183-190.
- [53] Rajewski, G.; Devine, G. *Building Envelope — Infrared Thermography, Preventative Roof Maintenance Workshop, Building Operator Association*. 8 October 1996.
- [54] Lerma, J.L.; Cabrelles, M.; Portalés, C. *Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade*. Construction and Building Materials, 2011, vol. 25, n. 5, p. 2190-2197.
- [55] Grinzato, B.; Cadelano, G.; Bison, P. *Moisture map by IR thermography*. Journal of Modern Optics, 2010, vol. 57, n. 18, p. 1770-1778.
- [56] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). *Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de betão celular autoclavado*. Relatório 05/02 – NCCt. Lisboa, LNEC, 2002.
- [57] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). *Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de parede de tijolo cerâmico furado*. Relatório 144/02 – NCCt. Lisboa, LNEC, 2002.
- [58] NEC San-ei Instrumensts, Ltd. *Thermo Tracer TH7800/TH7800N Operation Manual*. (s.d.).
- [59] METRUM Information Storage. *Thermo Tracer TH7800*. (s.d.).
http://www.metrum.co.uk/TH7800_spec.htm. Maio de 2013.
- [60] <http://www.test-therm.com.pl/ir/th7800.htm>. Maio de 2013.
- [61] <http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/lineup/th7800/>. Maio de 2013.
- [62] NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd. *Viewer Program (NS9205) User's Manual*. 2008.
- [63] TRAMEX. *Tramex LS Operation Manual*. (s.d.).
- [64] http://www.tramex.ie/About_Tramex.aspx?SID=3&SSID=51&ID=94. Maio de 2013.
- [65] [http://www.infopedia.pt/\\$termograma](http://www.infopedia.pt/$termograma). Abril de 2013.
- [66] <http://www.if.ufrgs.br/~leila/grafia.htm>. Abril de 2013.

- [67] Microsoft Office. Microsoft Office Excel 2007. <http://office.microsoft.com/pt-pt/>. Abril de 2013.
- [68] <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/image22.gif>. Maio de 2013.
- [69] Adobe. Adobe Photoshop CS5 (64 Bit). <http://www.adobe.com/>. Abril de 2013.
- [70] Teixeira, Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães. *Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Humidade Ascensional*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [71] http://sigarra.up.pt/feup/pt/instal_geral.edificio_view?pv_id=1407&pv_num_piso=1. Maio de 2013.

ANEXO A

Anexo A – Informações complementares dos equipamentos utilizados

Parte I – Câmara termográfica Thermo Tracer TH7800

Parte II – Detetor de humidade Tramex LS

Parte I – Câmara termográfica Thermo Tracer TH7800

Infrared Thermal Imager Thermo Tracer TH7800

New!! Image Fusion Function Added



Thermal



Visual



Fusion

High performance UFPA detector

320 x 240 pixels microbolometer
for high-resolution thermal images

Visual/thermal image fusion function(NEW)

Measures visual and thermal images
simultaneously and displays fused image for
easily identifying area of interest.

Laser pointer

For easy determination of
a measuring spot.

Flip-up 3.5" color LCD

Reflective/transmissive LCD for clear view at
indoors and outdoor. Flip-up mechanism allows
users to adjust the LCD position as they want.

Interval image recording(NEW)

Allows to obtain ever-changing temperature
data as thermal images at certain time interval.

Large storage capacity

Stores up to 1,000 images in internal
memory.

Basic performance

Resolution: 0.05°C (at 30°C, $\Sigma 16$)
Accuracy: $\pm 2\%$ (of reading) or $\pm 2^\circ\text{C}$
Battery life: Approx. 2 1/2 hours (typ)

Easy operation

Large control buttons for one-handed operation.
Multilingual menu: English, French, German,
Italian, Japanese, Korean, Portuguese, Russian,
Spanish, Simplified Chinese, Traditional Chinese,
Finnish, Danish, Swedish, Norwegian and Dutch.

Robust design

Dust/splash-proof: IP54
Vibration-proof: 29.4m/sec² (3G)
Shock-proof: 294m/sec² (30G)

Specifications

Measuring range	Range 1	-20 to 100°C
	Range 2	0 to 250°C
	Range 3 (optional)	200 to 1000°C
Resolution	0.05°C (Range 1 at 30°C, $\Sigma 16$)	
	0.1°C (Range 1 at 30°C, 60Hz)	
Accuracy	$\pm 2^\circ\text{C}$ or $\pm 2\%$ of reading, whichever is greater	
Detector	Uncooled focal plane array (microbolometer)	
Spectral Range	8 to 14 μm	
Thermal Image Pixels	320 (H) x 240 (V) pixels	
Focusing Range	50cm to infinity	
I.F.O.V.	1.5mrad	
Field of View	27° (H) x 20° (V)	
Display	3.5-inch color LCD	
Battery Life	Approx. 2-1/2 hours (At 20°C, RUN mode, LCD backlight off)	
Frame Time	60 frames/sec	
S/N improvement	OFF, $\Sigma 2$, $\Sigma 8$, $\Sigma 16$, and spatial filter ON/OFF	
Image Storage Capacity	Up to 1000 images (SIT file format: thermal & visual)	
Interval Image Recording	5 to 3600 sec interval	
Env. Temp. Correction	Provided (including interval NUC)	
Background Compensation	Provided	
Ambient Correction	Provided	
Auto Functions	Level/sense auto, level-trace, auto-gain control	
Thermal/Visual Image Fusion	Provided	
Image Processing Functions	Multi-point temperature display (up to 4 points)	
	Multi-point emissivity correction (up to 4 points)	
	Temperature difference between 2 points (Δt)	
	Max/Min (peak hold) temperature display	
	Alarm (full screen or specified box)	
	Digital zoom: 2, 4 times (Run/Freeze)	
Display Functions	BOX setting, up to 5 boxes (max, min, average)	
	Display color: color/monochrome, positive/negative	
	Gradation: 16, 32, 64, 128, 256	
	Color palette: rainbow, brightness, shine, hot-iron, medical, fine	
Laser Pointer	Isothermal band display: max. 4 bands	
	Battery monitor	
Laser Pointer	Class 2 (1mW/635nm red)	
Interfaces	USB 2.0/1.1 (Mass-storage mode)	
	Video signal (NTSC/PAL)/S-video	
Operating temperature	-15 to 45°C, 90% RH or less (not condensed)	
Storage temperature	-40 to 70°C, 90% RH or less (not condensed)	
Power supply	AC adaptor: 100 to 240V, DC 7.2V (nominal)	
Environmental protection	IP54 (IEC60529)	
Dimensions	Approx. 102 (W) x 217 (H) x 205 (D) mm (excluding projections)	
Weight	1.3kg (including battery)	
Standard accessories	AC adaptor, battery pack (2 pcs), battery charger, wrist strap, lens cap, carrying case, viewer software, USB cable, operation manual	

Visual Camera

Pixels	0.41 Mega pixels
Sensitivity	1 lux
Focusing Range	50cm to infinity

Options

Model	Description
TH78-382	2x telephoto lens, 13° (H) x 10° (V) *1
TH78-383	0.5x wide angle lens, 54° (H) x 40° (V) *1
TH78-345	Video cable, 3m
TH91-348	S-video cable, 3m
TH78-390	High temperature range, 200 to 1000°C
TH78-490	2nd year warranty *2

*1: Optional lenses are not available with TH78-390 High temperature range.

*2: Fee is required separately for calibration.

**Specifications are subject to change without prior notice.

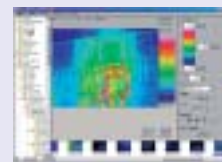
**Described company name and model are brand name or registration of trademark.



Applicable Software

Viewer Software TH78-719 (standard)

- ☐ Thermal image playback
 - Temp display setting
 - Visual image display
 - Voice playback
 - Point temp display (up to 10 points)
- ☐ Data conversion: JPEG, BMP, AVI
- ☐ Download of thermal image data from internal memory.



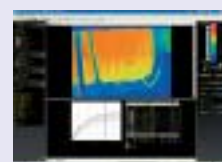
Report Generator NS9200 (optional)

- ☐ Helps to make reports easily with thermal images and temperature data on MS Word and Excel.
- ☐ Fusion of thermal and visual images.
- ☐ Subtraction (Entire image, specified area, like-figures)
- ☐ File management with database.
- ☐ Detects abnormal temperature by max/min temperature display.

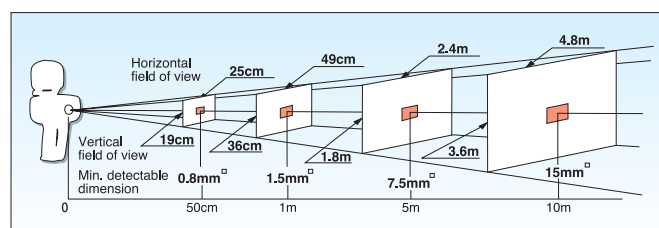


Image Processor Pro II NS9300 (optional)

- ☐ Thermal/visual image fusion.
- ☐ Patchwork (Integrates multiple thermal images into one and enables data analysis)
- ☐ Sequence editor (Converts multiple thermal image files into thermal movie files)
- ☐ Report generation (MS Word, MS Excel, HTML and MRT)
- ☐ Data output (Excel, BMP, JPEG and AVI)



Field of View Diagram (Thermal image)



**CAUTION
FOR SAFETY**

Please read "WARNING" & "CAUTION" in the operation manual attached to the product carefully for proper operation before using the product.

NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd.

1-5, Nishi-Gotanda 8-chome, Shinagawa-ku,

Tokyo 141-8535, Japan

Phone: +81-3-5436-1614

Fax : +81-3-5436-1395

E-mail: osd@nec-avio.co.jp

Web : <http://www.nec-avio.co.jp/en/>



Catalog ref : NA006

Distributor:

I0804A5 Printed in Japan

Parte II – Detetor de humidade Tramex LS

TRAMEX

CONTENTS

Introduction	1
Important Note	1
How it Works	1
Guarantee	3
On Delivery, Prior to Use	5
Dimensions	7
Weight	7
Measuring Method	7
On Roof Operating Instructions	9
Conducting a Roof Survey	9
Tracing a Leak	13
Types of Roofing Structure and their More	
Common Problems	15
Maintenance of the Instrument	17
Fault Finding	19
Instrument Check	19

GUARANTEE

This Tramex Electronic Moisture Detection Instrument is guaranteed by Tramex Ltd. against defective workmanship for a limited period of ONE YEAR from date of first purchase by the user.

Tramex Ltd. will repair the instrument without charge provided the fault is not as a result of wear and tear, mechanical damage or neglect and that the instrument is returned to the supplier or Tramex Ltd., Unit 1, IDA Enterprise Centre, Pearse Street, Dublin 2, Ireland, immediately the defect is apparent.

Except for such repair we take no further responsibility for damages, direct or indirect, or implied which may occur.

Fill in Name & Address of Supplier below for your own records and Return Guarantee Card to Tramex.

.....
.....
.....
.....

Date of Purchase:

TRAMEX LIMITED,
UNIT 1, IDA ENTERPRISE CENTRE,
PEARSE STREET, DUBLIN 2, IRELAND.

INSTRUMENT NO.

--	--	--	--	--	--	--	--

TRAMEX

INTRODUCTION

To get the maximum benefit from your TRAMEX LEAK SEEKER, it is suggested that you read this manual to familiarize yourself with the instrument and its capabilities, before undertaking any roof investigations.

The Leak Seeker has 2 scales of sensitivity to cater for various types of roof surfaces and is equipped to detect moisture in Built-up-Roofing and Fully Waterproofed Roofs, which, if left undetected, would lead to the rapid deterioration of the roof. (Various types of roof structure and their characteristics are described later in this manual).

If you follow the procedures laid down in this manual and employ regular maintenance checks, you will find that the instrument gives excellent service over a long period, saving on roof repairs or replacement.

IMPORTANT NOTE

The signals from this instrument will not penetrate certain types of rubber roofing materials which contain carbon black, such as E.P.D.M. and Butyl Rubber etc.

However the Tramex Side-Kick has been specially developed for this application and details are available on request.

HOW IT WORKS

The Leak Seeker is a battery powered, electronic instrument, designed to generate two low frequency electronic signals. It transmits these signals through parallel electrodes incorporated in the rubber electrode mat, which is attached to the underside of the instrument. By placing the unit on a roof's surface in a regular pattern, an area that contains moisture can be readily identified.

In the event that water has already penetrated the building structure, the Leak Seeker can be taken to the general area to follow the moisture trail to the source of the leak, which could be as much as 100 ft or more from the internal leak.

By regularly repeating this process of inspection, roofs can be monitored and remedial action can be taken in time to prevent major and expensive stripping and re-roofing.

TRAMEX

ON DELIVERY, PRIOR TO USE CONT'D

- (2) Examine the instrument visually for any damage to the body and if damage has occurred, please notify us immediately, by listing the faults when returning the guarantee card.
- (3) Assemble the telescopic handle and screw into the receiving hole on the housing.
(Fig.2)
- (4) Fill in the name and address of your supplier on the guarantee card and return to TRAMEX

DIMENSIONS

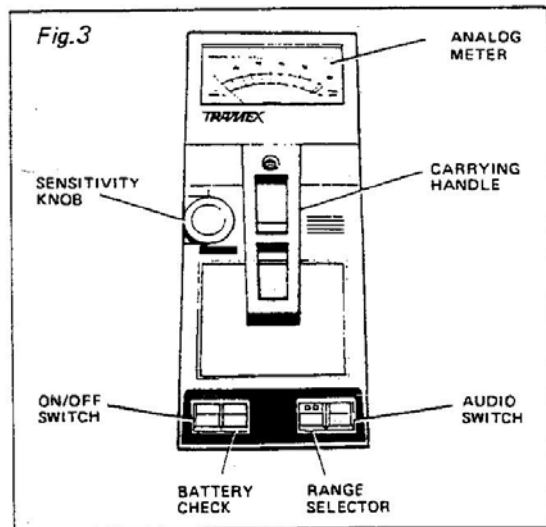
Leak Seeker 10.9"L x 4.8"W x 3.3"H
(276mmL x 122mmW x 84mmH)
Leather Case 12"L x 6.6"W x 4.3"D
(305mmL x 168mmW x 110mmD)

WEIGHT

Leak Seeker 2.5 pounds (1.12 kg)
With Carrying Case 3.8 pounds (1.75 kg)

MEASURING METHOD

Non-destructive resistance.

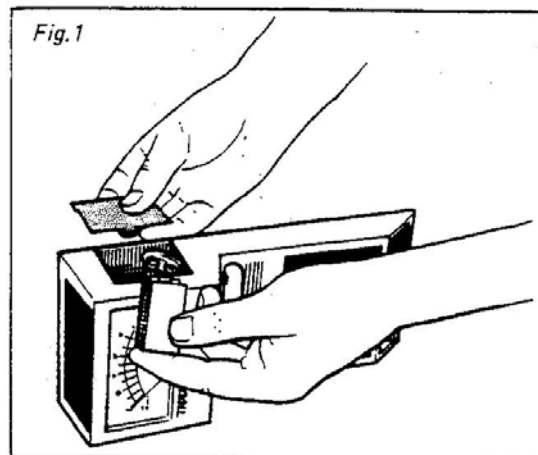


TRAMEX

ON DELIVERY, PRIOR TO USE

Although the instrument is checked on assembly and quality control ensures it is in working order when leaving the factory, a few minor checks should be carried out after transit.

- (1) Remove the battery cover and connect up the two nine volt batteries. (Fig.1)



TRAMEX

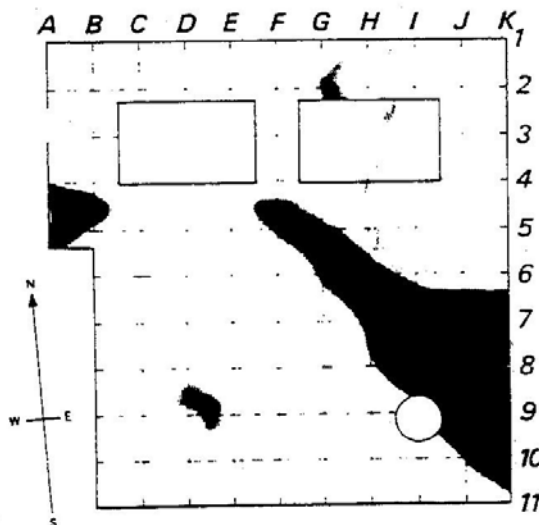
CONDUCTING A ROOF SURVEY CONT'D

Procedure:

- (1) Make a sketch of the roof, indicating openings and protrusions etc.
- (2) Select a convenient grid span ie. 6ft (2 metres) and on the North/South perimeter, mark 1,2,3 etc. while on the East/West perimeter mark A,B,C etc. Transfer these grid system markings to your roof sketch. (Fig.4)

Proceed by moving the Leak Seeker along the imaginary line A and mark locations on the sketch graph paper and roof surface if desired, when moisture is indicated. N.B. In Fig.4 position A4 is the first point of moisture contact.

- As the survey continues, a moisture profile will build up, indicating areas which require attention.
- (i) On single ply roofing, particular attention must be paid to laps and seams.
 - (ii) Should a precise percentage of moisture be required, a sample can be removed from the site, sealed in a plastic bag and checked in a laboratory, by weighing, drying and reweighing, to calculate the exact amount of moisture present. Alternatively the sample could be checked with a probe type moisture meter.
 - (iii) It is important to also examine the plies of the roofing felt after taking a test cut, as moisture may be present between the plies or within the fiber of the felt.



TRAMEX

ON-ROOF OPERATING INSTRUCTIONS

- (1) Check the battery strength by switching the instrument on and holding down the battery check switch. If the signal is below the battery line or the needle pulsates with the L.E.D., always replace the two 9V batteries. (Fig.1)

This unit takes two 9V PP3 batteries. 1604, 6F22, 6LF22 or equivalent.

- (2) Select Range:-

Range 1: (Yellow Flashing LED) is the least sensitive and is suitable for smooth or mineral surfaced roofs.

Range 2: (Red Flashing LED) is more sensitive and will read through heavier membranes as well as most gravel or ballast roof coverings. (If satisfactory readings cannot be achieved through ballast, remove same and work directly on the surface of the waterproofing material.

CONDUCTING A ROOF SURVEY

Check List:

Recording the following information will assist you in completing a comprehensive roof survey.

Building Name and Number:

Date of Survey:

Name of Surveyor:

Visual Inspection of all Roof Flashings:

Visual Inspection of Roof Lights & Openings:

Visual Inspection of Vents, Chimneys and other Protrusions.

Items Required:

In addition to the Leak Seeker, the following equipment will be found useful when surveying a roof surface.

- (1) Core Cutter
- (2) Crayon, roofer's chalk or a can of spray paint.
- (3) Tape measure.
- (4) Roofer's knife and a can of cold mastic, plus some pieces of roofing felt for minor repairs.
- (5) Plastic bags.

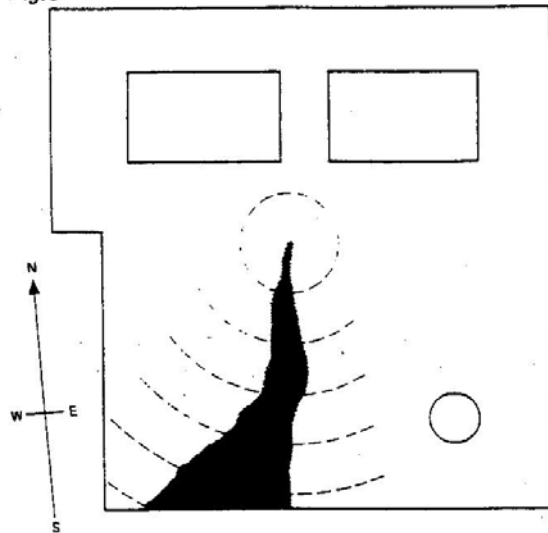
Note: Risk Kits with all the above items are available from Tramex

TRAMEX

TRACING A LEAK CONT'D

Note: The reading on the Leak Seeker is a 'Relative Scale', indicating a greater or lesser signal. It is not an indication of % moisture. As a guide, approximately 20% moisture in wood fiber board under 3mm (1/8") membrane, will give full scale deflection on Scale 1. Many insulations currently available can contain up to 200% moisture by weight, while others can hold no more than 50%. If precise moisture content is required, we recommend a sample core is cut and measured by weigh/dry/weigh method.

Fig.5



TYPES OF ROOFING STRUCTURE AND THEIR MORE COMMON PROBLEMS

(1) Built-up-Roofing Systems:

Comprising of 3 or 4 layers of roofing felt, with bitumen or asphalt adhesive between each layer.

PROBLEM(i) Mechanical damage from maintenance personnel.

(ii) Fissures or cracks in the membrane, caused by building settlement or expansion and contraction.

(iii) Blistering caused by moisture trapped in the roofing system during construction.

(2) Modified Bitumen Systems:

This type of material is usually heat applied as a single layer system or with a base layer of bituminous felt. Sometimes problems occur on the

TRAMEX

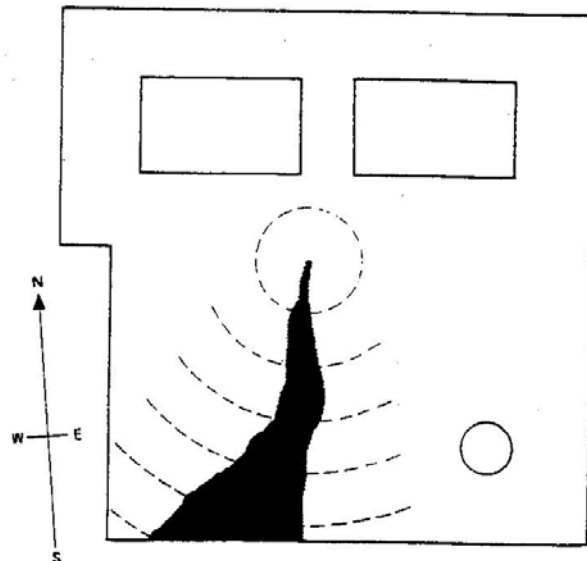
TRACING A LEAK

If, for instance, a leak has been noticed in a built-up-roof, it may be easy to identify where the water is dripping into the building, but not so easy to locate where the water is leaking through the waterproof layer.

Take your Leak Seeker to the general area of the roof over the leak. Switch on to activate the Leak Seeker and select the desired range. Turn the sensitivity knob to MAX and place the Leak Seeker on the roof surface. (If no reading is received the insulation directly beneath the instrument is dry). Take point readings around the area until moisture is located. Mark the roof surface with crayon or paint, outlining the area of wetness. (Fig.5)

To trace the leak back to the source, turn down the sensitivity until the meter needle reads approximately half scale. Take point readings around the area of the leak, following the strongest signal. It may be necessary to reduce the sensitivity a number of times until the area of greatest moisture content is located. Based on the usual pattern of greatest moisture concentration being in proximity to the point at which the moisture gets through into the roof, a careful visual examination of the area should be carried out to identify defects or damage to the roof covering.

Fig.5



TRAMEX

FAULT FINDING

FAULT 1

Low Battery Power

INDICATED BY

Press switch for battery check, if reading below line.

REMEDY

Replace both batteries.

FAULT 2

Low Battery Power

INDICATED BY

Needle fluctuating when audio signal is on.

REMEDY

Switch off audio signal if replacement batteries are not immediately available, or replace both batteries.

INSTRUMENT CHECK

To familiarise yourself with the operation of the Leak Seeker, we recommend you set up a test situation before operating the instrument in unknown circumstances for the first time. To do this, place a piece of roof insulation board on a table and cover with roofing felt. Pour water on to an area approximately the size of the Leak Seeker and re-cover with the roofing felt.

Switch the instrument onto MAX sensitivity and switch on the audio button. Place the instrument on the known wet area and reduce the sensitivity to mid scale. Then place the instrument on various points around the test area, as if to search for the dampness. When the damp area is located, the needle will register on the scale and an audible signal will be emitted.

TRAMEX

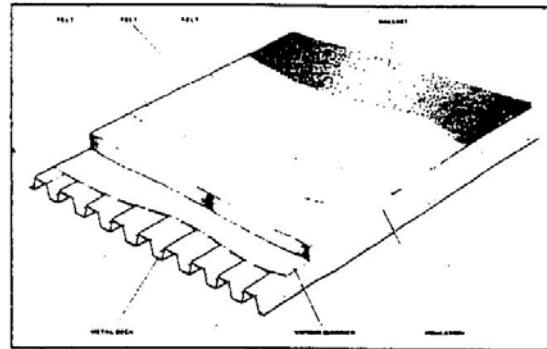
TYPES OF ROOFING STRUCTURE AND THEIR MORE COMMON PROBLEMS

laps and upstands if material is not fully sealed during construction.

(3) Single Ply Roofing:

Usually applied in welded sheet form, direct to the insulation. Problems usually occur from mechanical damage and maintenance personnel, pin holes, bird damage and faulty seams during construction.

(N.B. The Tramex CR Dec Scanner has been specifically developed for checking E.P.D.M. and Butyl Rubber).



MAINTENANCE OF THE INSTRUMENT

Apart from the replacement of batteries, the only maintenance check required is the regular examination of the electrode mat.

In the event of instrument malfunction, return immediately to your dealer.

Clean with a damp cloth, but never use solvents to clean the surface.

ANEXO B

Anexo B – Fotografias, termogramas, tabelas relativas aos valores obtidos pelo detetor de humidade e respetivos gráficos para o estudo relativo à humidade ascensional

Parte I – Garagem de um edifício de habitação multifamiliar

Parte II – Laboratório de Física das Construções da FEUP

Parte II.1 – Fotografias e termogramas

Parte II.2 – Tabelas relativas aos valores obtidos pelo detetor de humidade e respetivos gráficos

PARTE I

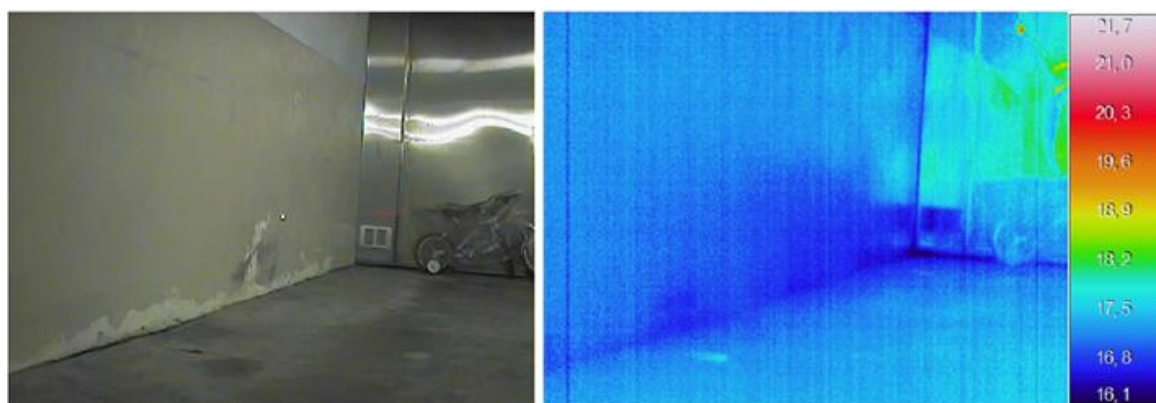


Figura B.1 – Fotografia e termograma

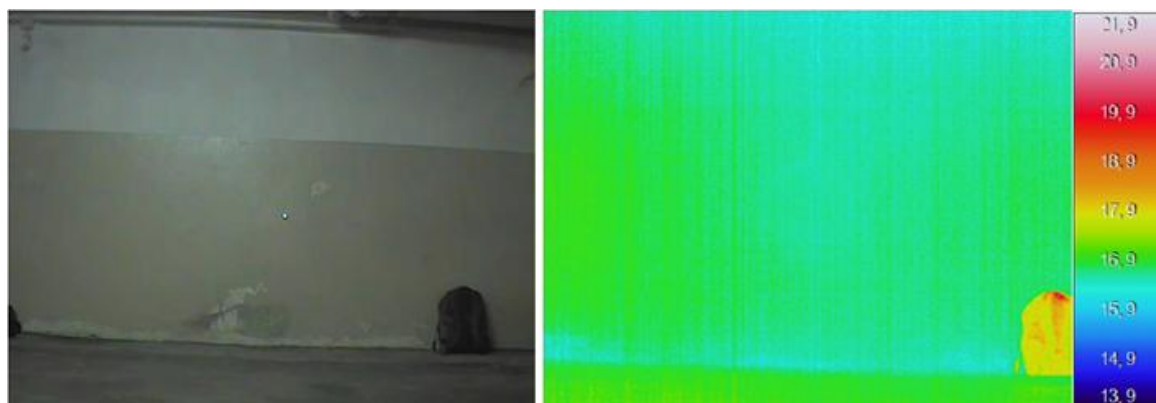


Figura B.2 – Fotografia e termograma

PARTE II

PARTE II.1

- **Proвете seco**

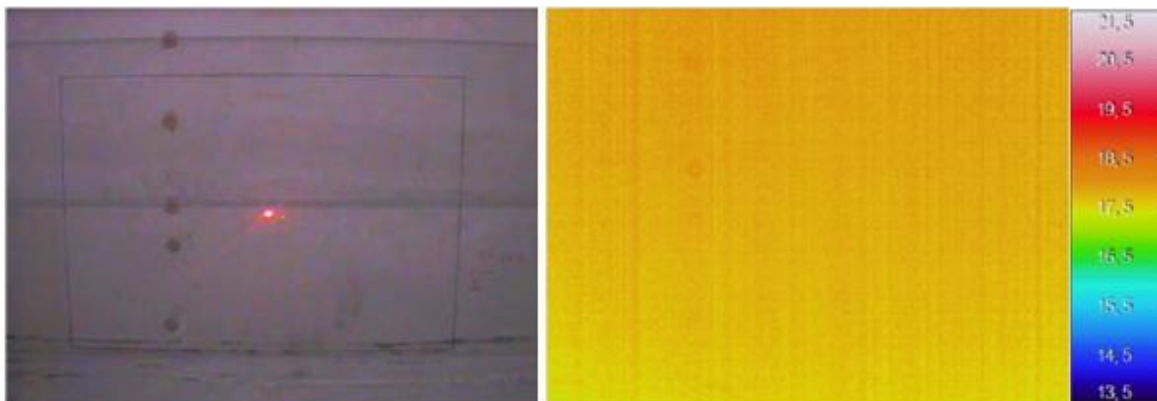


Figura B.3 – Fotografia e termograma

- **0 Horas**

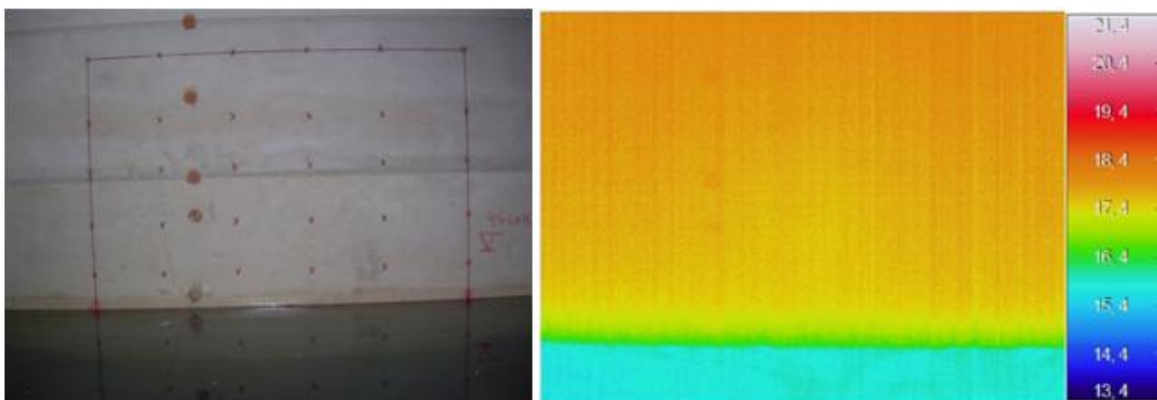


Figura B.4 – Fotografia e termograma

- **2 Horas**

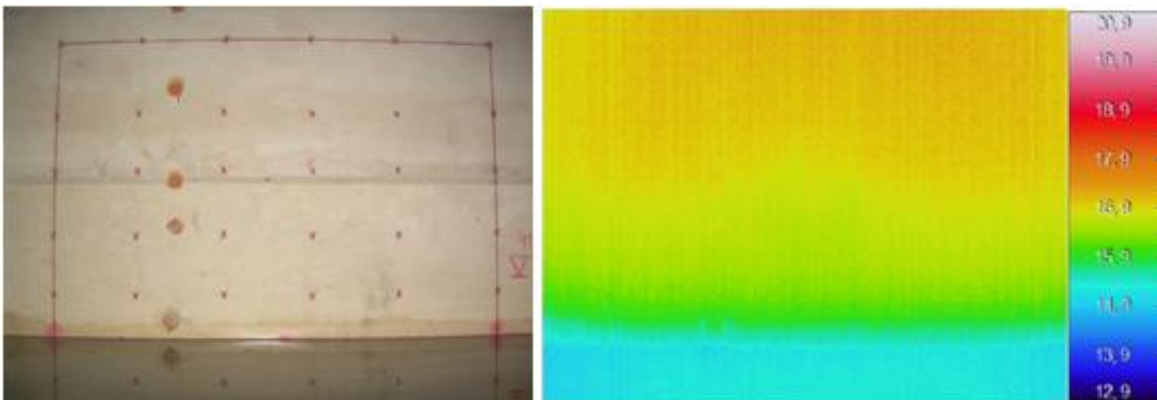


Figura B.5 – Fotografia e termograma

- **4 Horas**

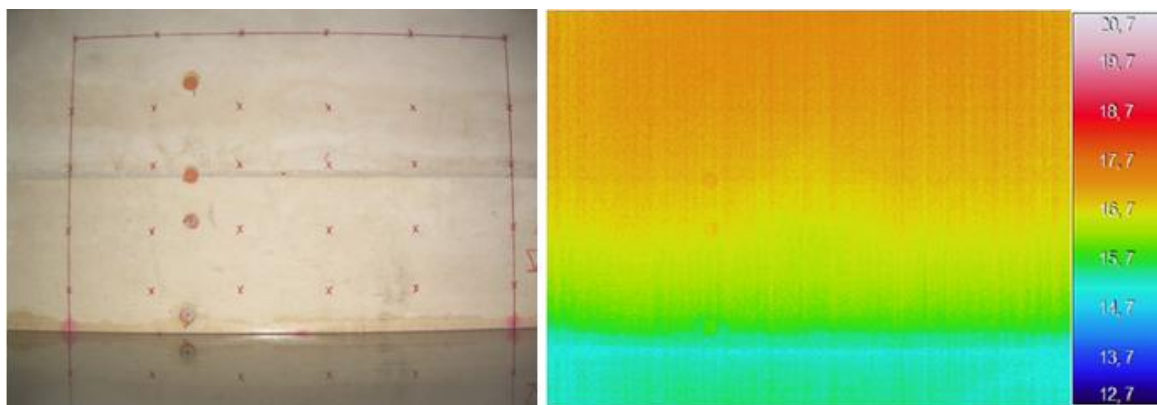


Figura B.6 – Fotografia e termograma

- **8 Horas**

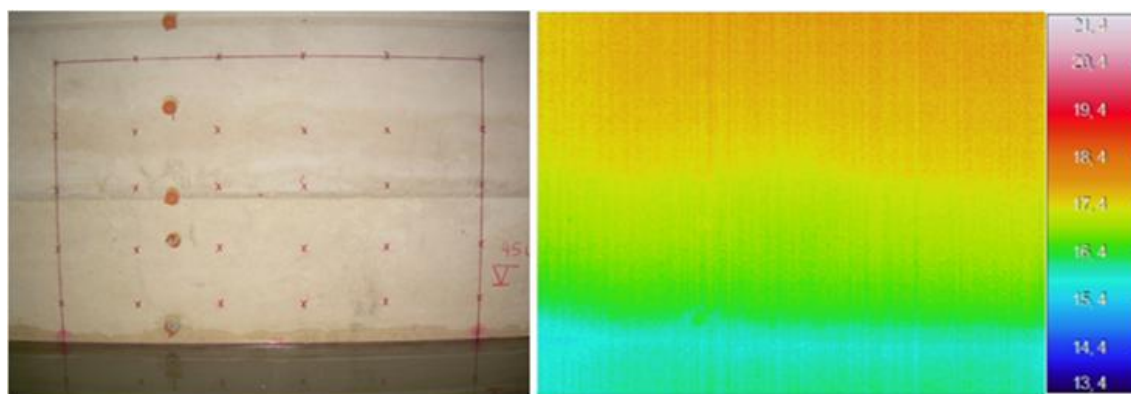


Figura B.7 – Fotografia e termograma

- **28 Horas**

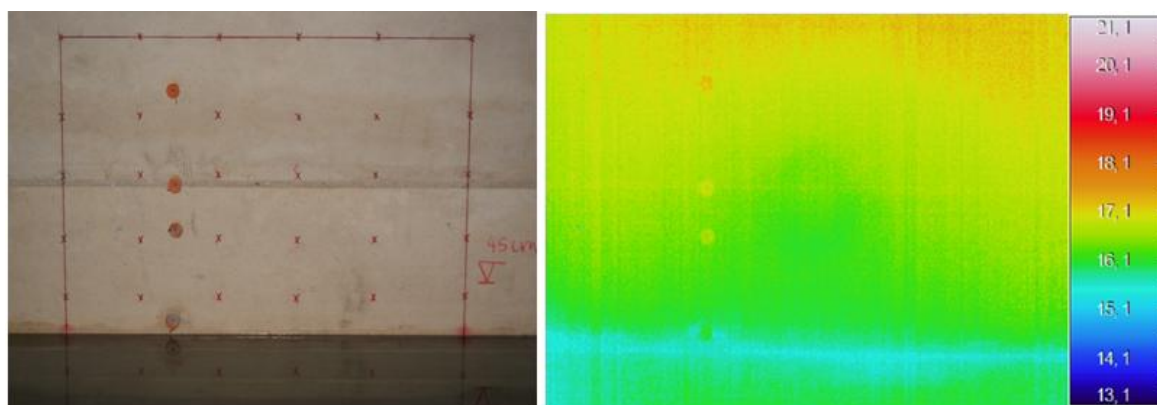


Figura B.8 – Fotografia e termograma

- **52 Horas**

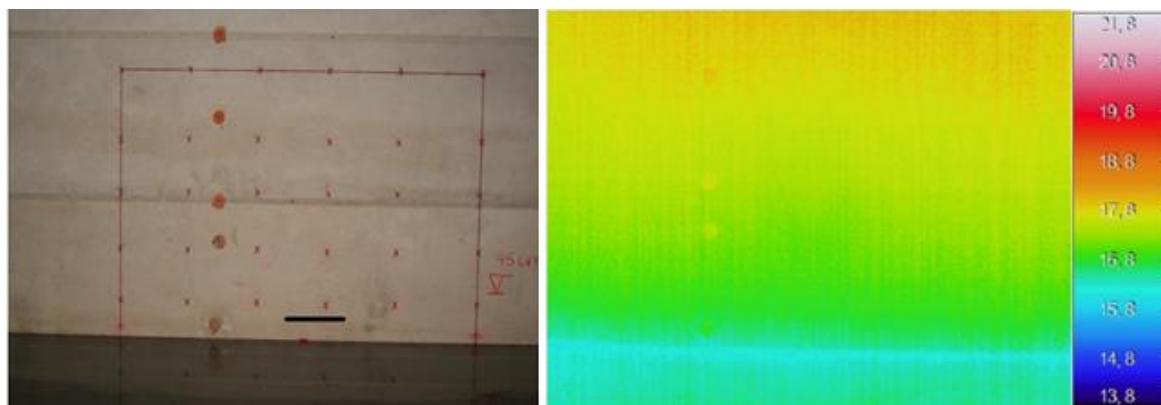


Figura B.9 – Fotografia e termograma

- **100 Horas**

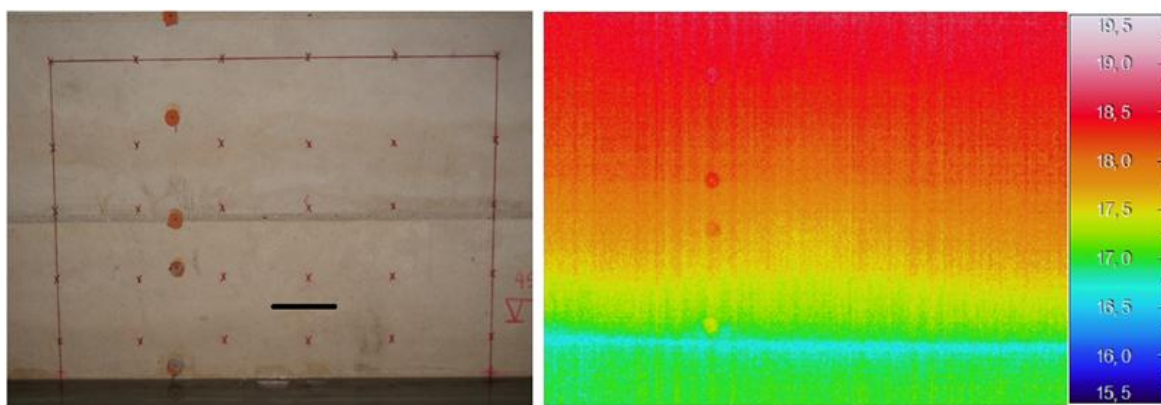


Figura B.10 – Fotografia e termograma

- **148 Horas**

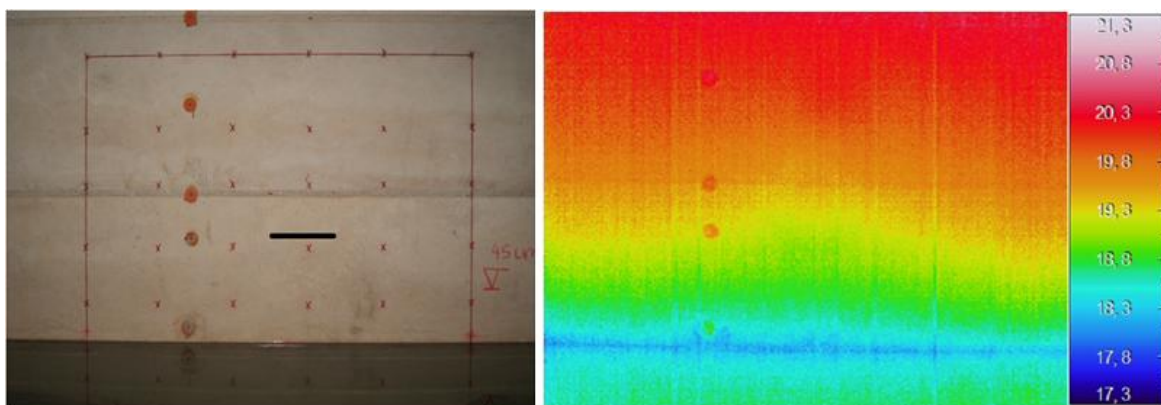


Figura B.11 – Fotografia e termograma

- **196 Horas**

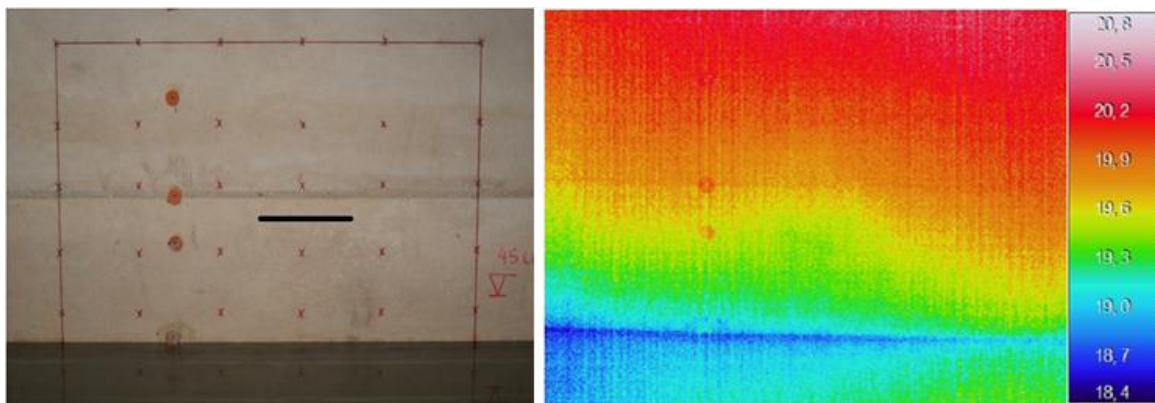


Figura B.12 – Fotografia e termograma

- **268 Horas**

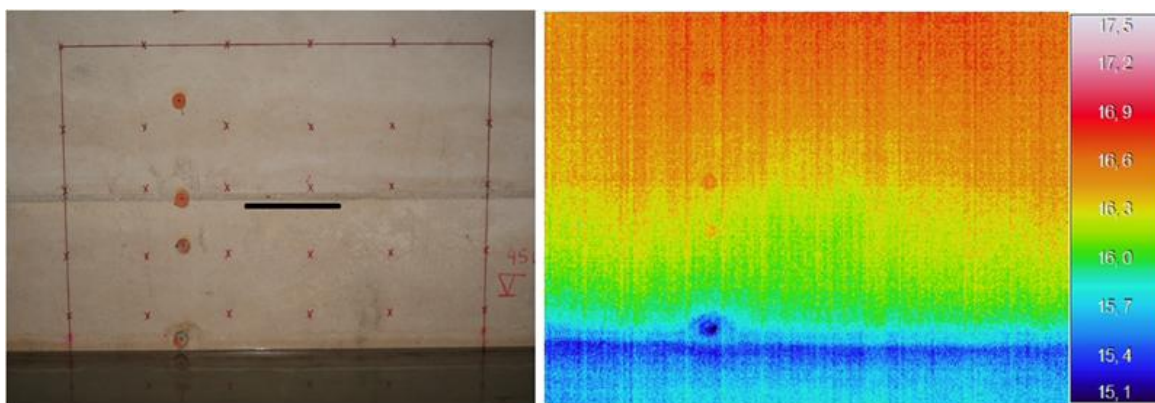


Figura B.13 – Fotografia e termograma

- **340 Horas**

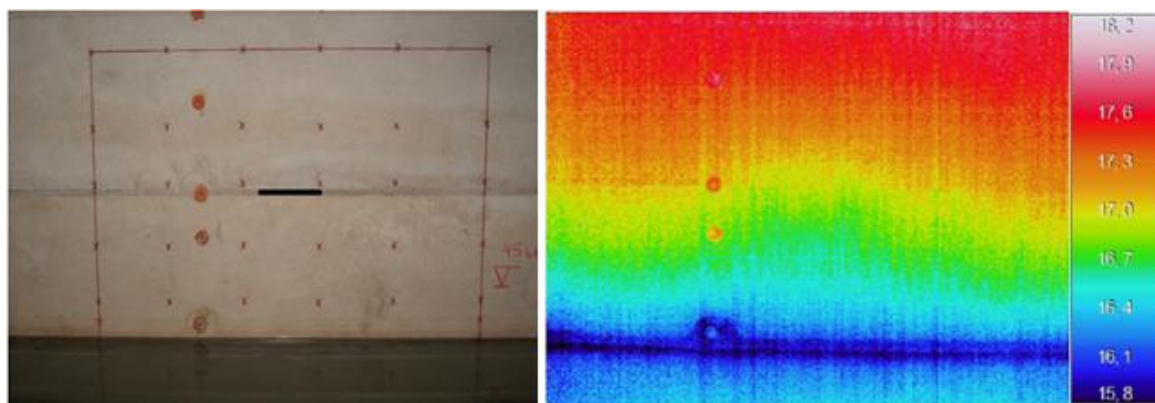


Figura B.14 – Fotografia e termograma

- 436 Horas

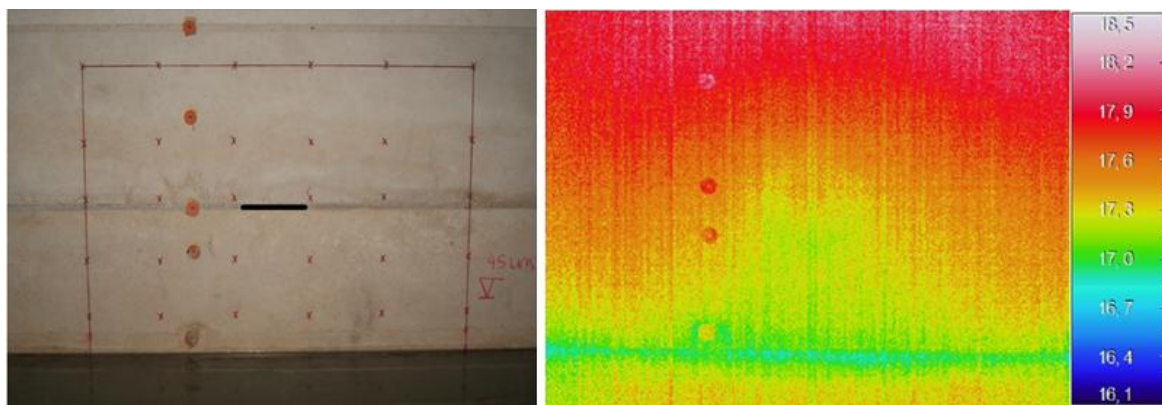


Figura B.15 – Fotografia e termograma

- 532 Horas

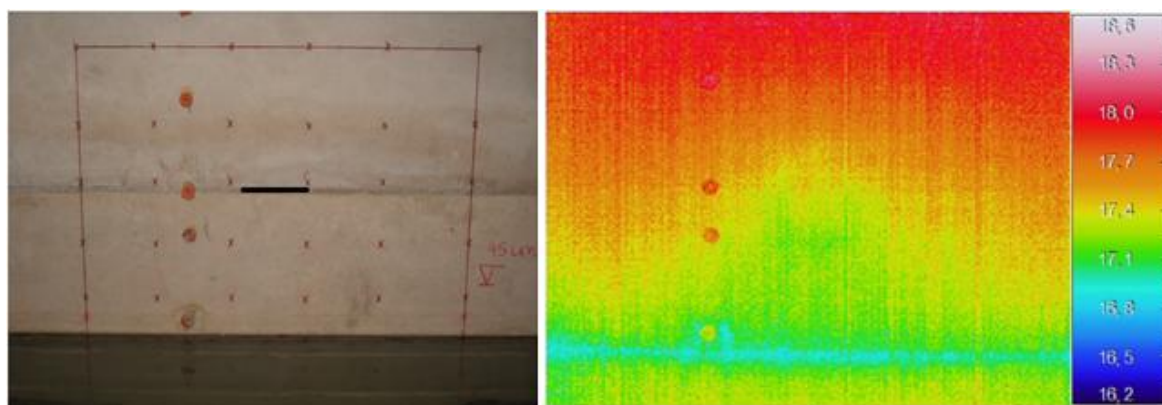


Figura B.16 – Fotografia e termograma

PARTE II.2

- **Proвете seco**

Zona seca_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	92	100	100	78	100	100
2	0,52	53	86	90	43	100	100
1	0,42	16	58	47	44	78	94
Base do provete							

Figura B.17 – Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 6”

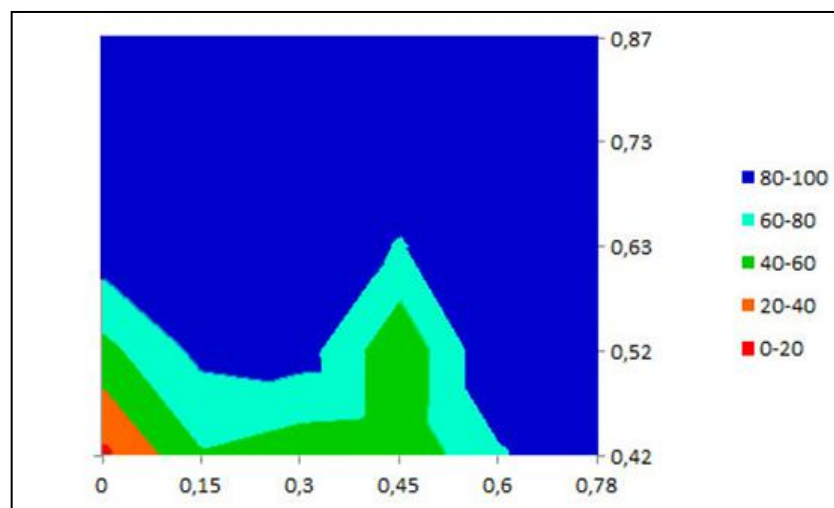


Figura B.18 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.17

Zona seca_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	93	100	100
3	0,63	44	78	74	30	100	100
2	0,52	16	40	42	10	77	100
1	0,42	0	18	14	11	39	48
Base do provete							

Figura B.19 – Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 5”

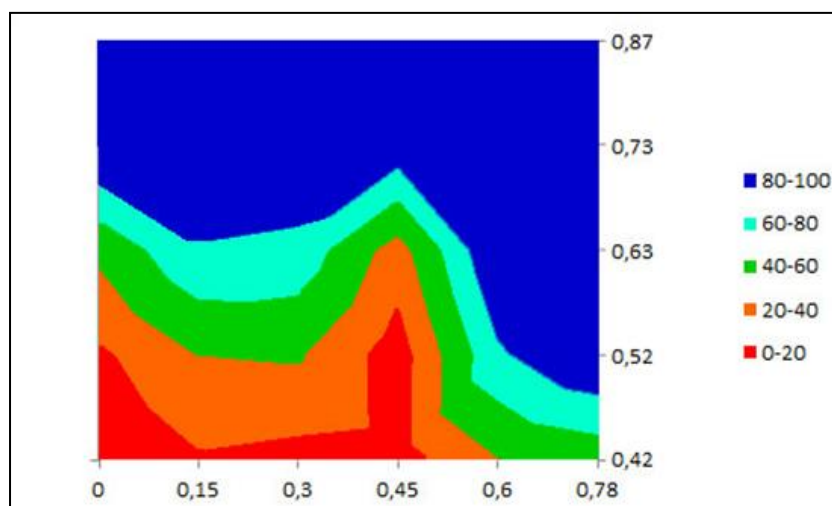


Figura B.20 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.19

Zona seca_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	64	84	91	92	84	100
4	0,73	48	58	51	24	53	92
3	0,63	0	4	22	0	48	82
2	0,52	0	0	0	0	14	66
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.21 – Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 4”

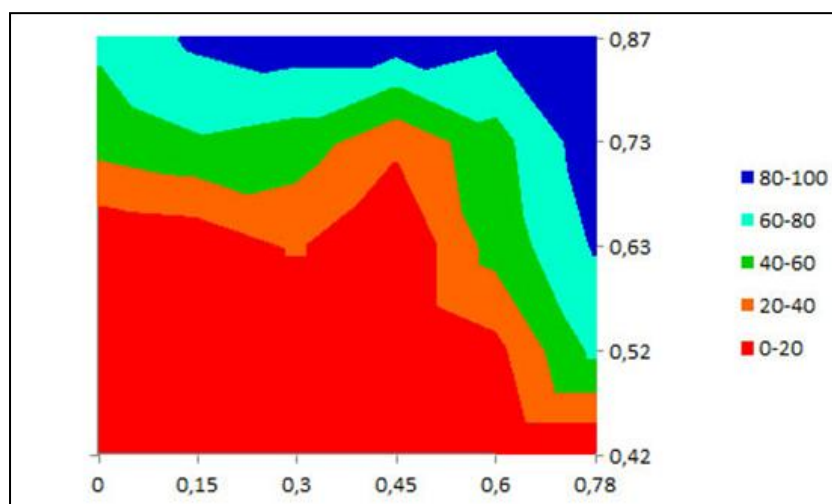


Figura B.22 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.21

Zona seca_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	10	18	18	20	13	35
4	0,73	0	0	0	0	0	17
3	0,63	0	0	0	0	0	10
2	0,52	0	0	0	0	0	0
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.23 – Tabela “Zona seca_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

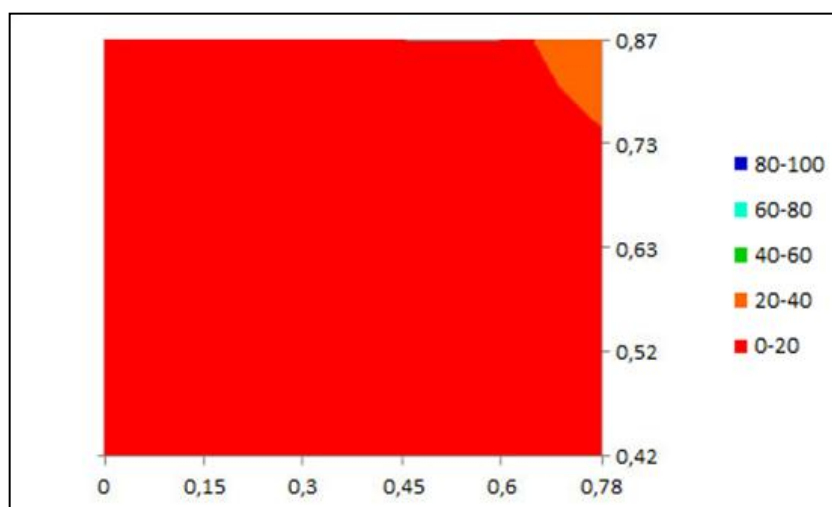


Figura B.24 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.23

- **0 Horas**

0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	100	100	100	80	100	100
2	0,52	48	100	90	100	100	100
1	0,42	46	46	64	74	100	100
Base do provete							

Figura B.25 – Tabela “0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

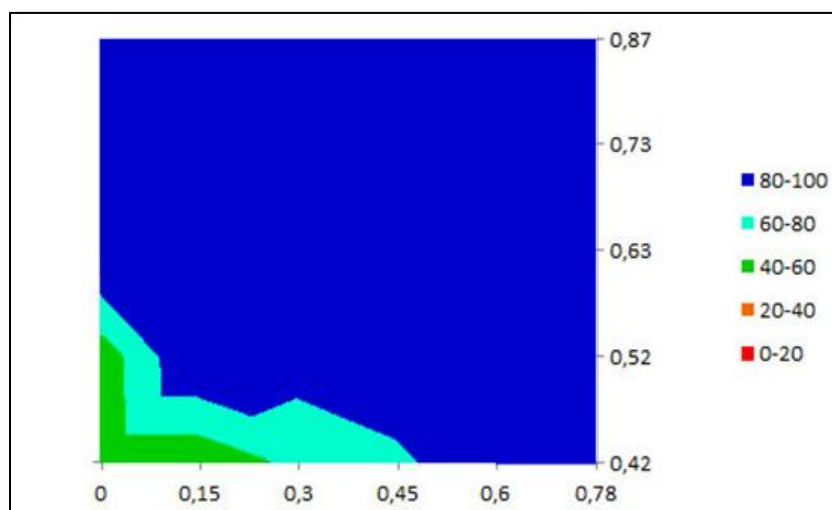


Figura B.26 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.25

0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	57	90	97	39	100	100
2	0,52	5	50	40	55	100	100
1	0,42	14	14	27	36	100	100
Base do provete							

Figura B.27 – Tabela “0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

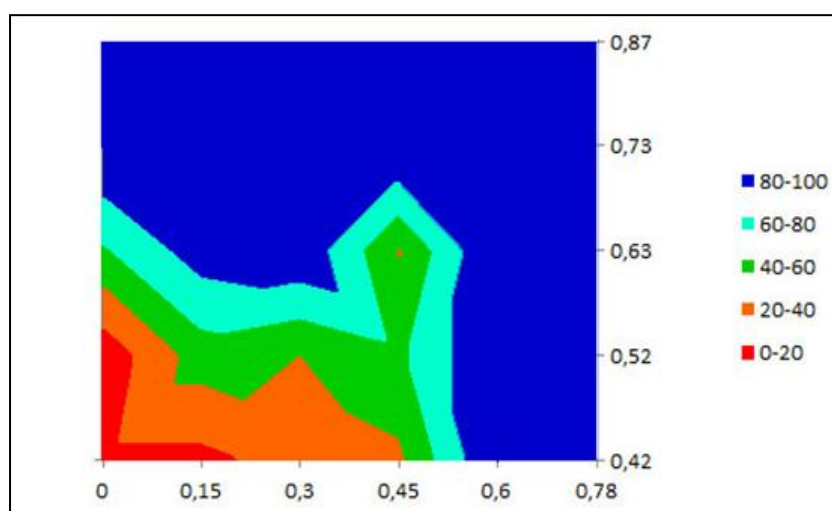


Figura B.28 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.27

0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	79	92	89	89	82	100
4	0,73	52	62	48	22	50	86
3	0,63	0	18	20	0	40	88
2	0,52	0	0	0	0	63	100
1	0,42	0	0	0	0	34	42
Base do provete							

Figura B.29 – Tabela “0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

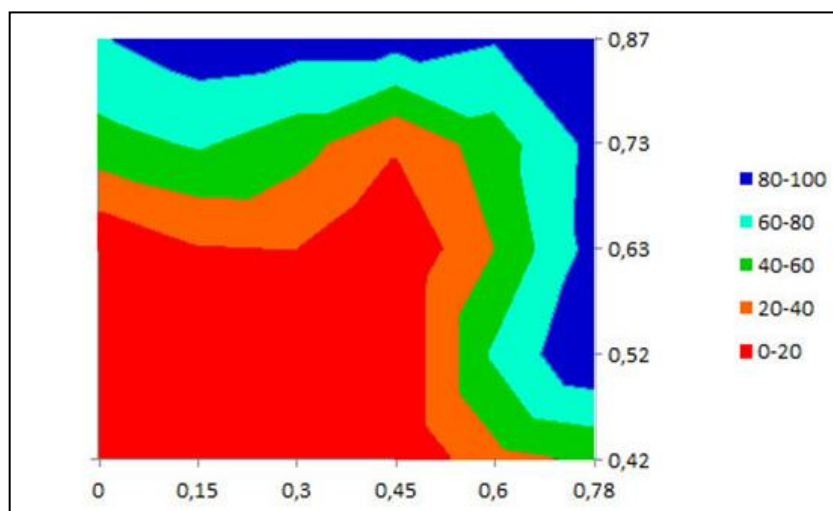


Figura B.30 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.29

0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	6	5	5	4	24
4	0,73	0	0	0	0	0	4
3	0,63	0	0	0	0	0	5
2	0,52	0	0	0	0	0	11
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.31 – Tabela “0 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

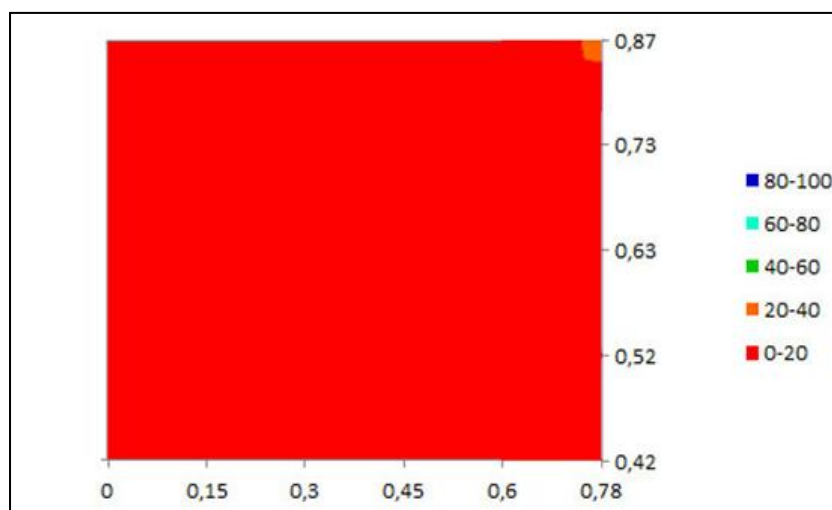


Figura B.32 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.31

- **2 Horas**

2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	100	100	100	84	100	100
2	0,52	64	100	92	100	100	100
1	0,42	58	58	80	82	100	100
Base do provete							

Figura B.33 – Tabela “2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

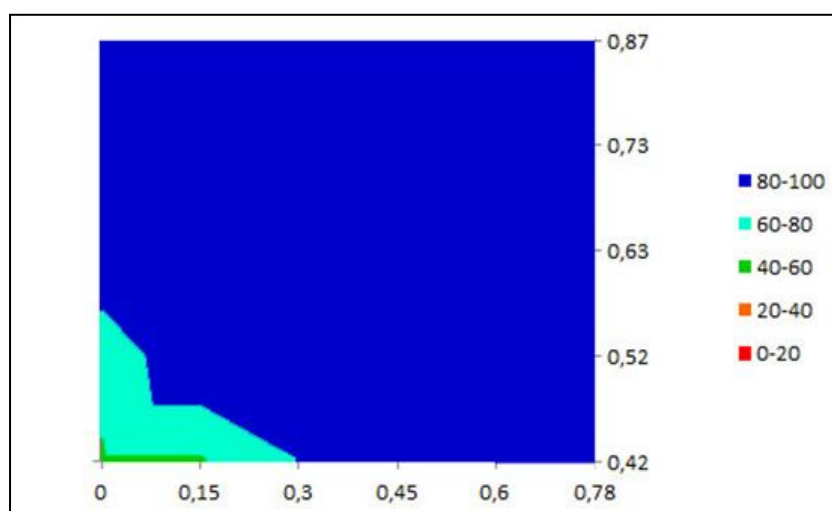


Figura B.34 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.33

2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	71	98	97	42	100	100
2	0,52	14	52	60	62	100	100
1	0,42	11	11	32	40	100	100
Base do provete							

Figura B.35 – Tabela “2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

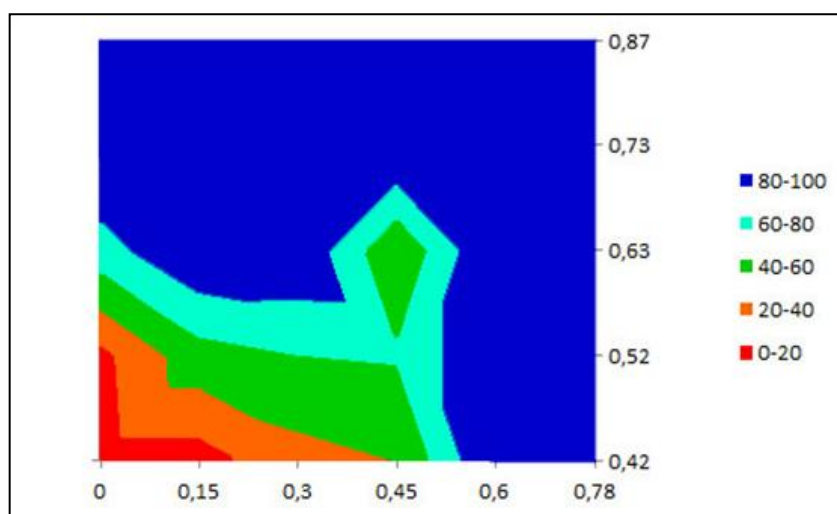


Figura B.36 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.35

2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	76	90	87	92	86	100
4	0,73	52	65	44	22	52	84
3	0,63	0	18	18	0	39	87
2	0,52	0	0	0	0	62	98
1	0,42	0	0	0	0	38	60
Base do provete							

Figura B.37 – Tabela “2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

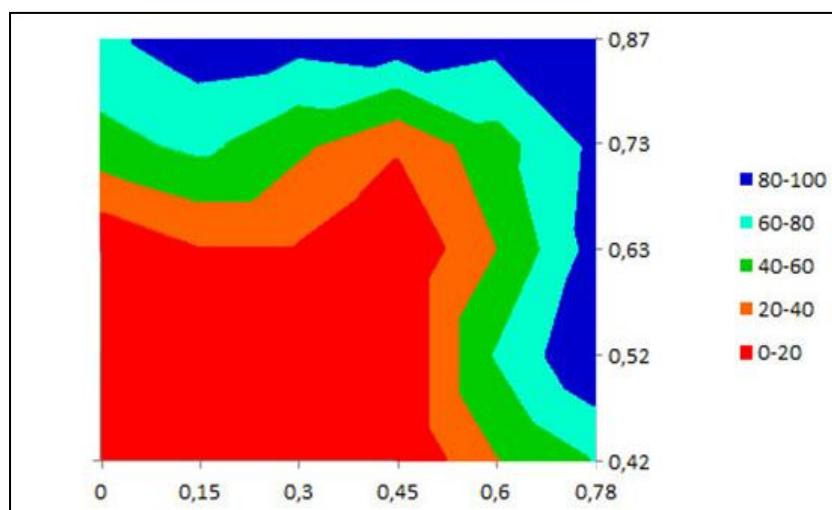


Figura B.38 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.37

2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	18	31	27	32	27	48
4	0,73	0	8	0	0	0	26
3	0,63	0	0	0	0	0	30
2	0,52	0	0	0	0	8	34
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.39 – Tabela “2 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

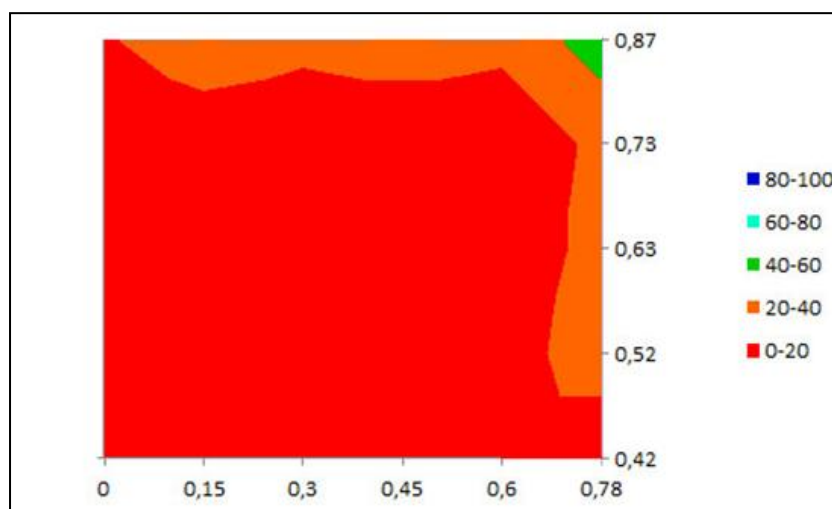


Figura B.40 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.39

- **4 Horas**

4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	100	100	100	88	100	100
2	0,52	68	100	94	100	100	100
1	0,42	58	62	82	90	100	100
Base do provete							

Figura B.41 – Tabela “4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

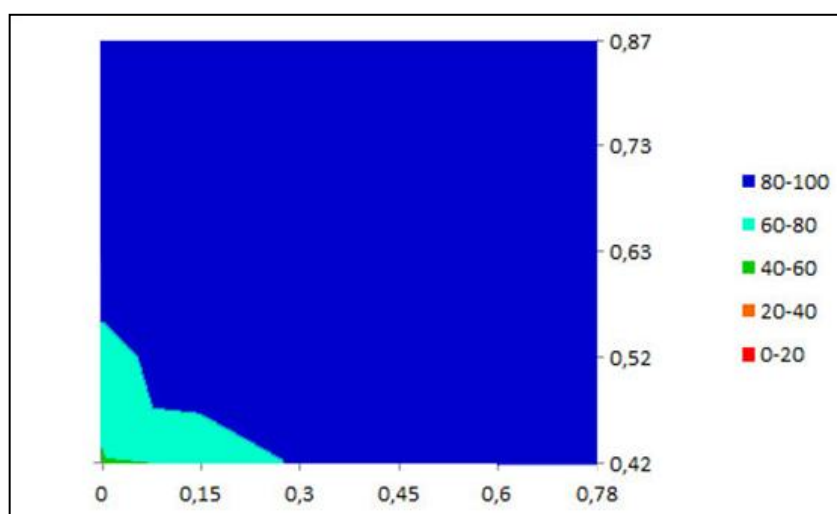


Figura B.42 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.41

4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	61	86	93	38	100	100
2	0,52	26	62	54	63	100	100
1	0,42	16	18	42	50	100	100
Base do provete							

Figura B.43 – Tabela “4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

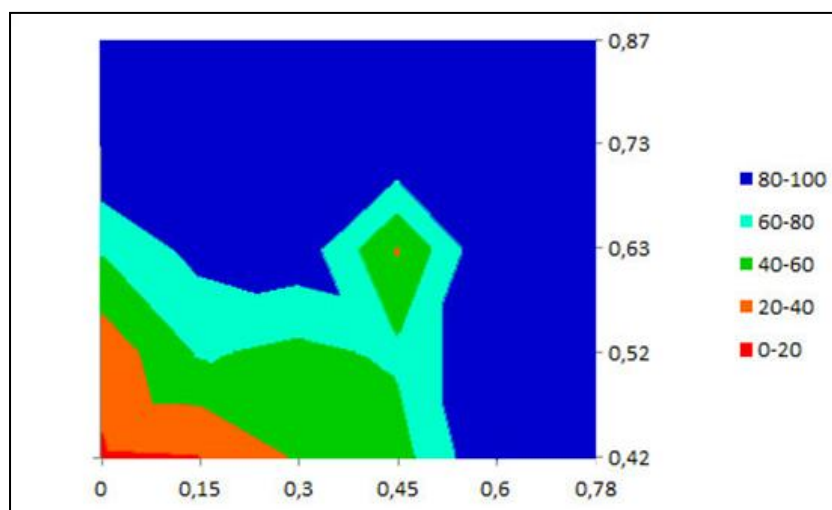


Figura B.44 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.43

4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	80	100	94	99	96	100
4	0,73	58	71	50	34	54	88
3	0,63	4	24	28	0	49	96
2	0,52	0	4	0	4	64	100
1	0,42	0	0	0	0	44	64
Base do provete							

Figura B.45 – Tabela “4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

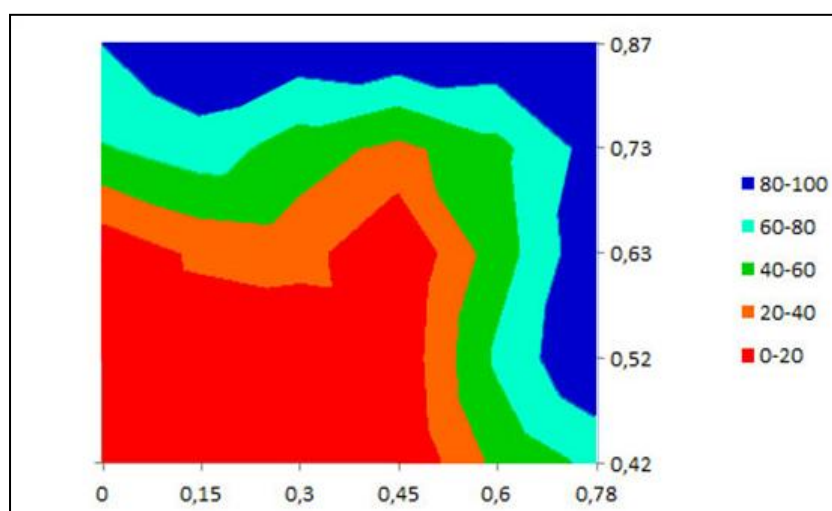


Figura B.46 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.45

4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	13	33	22	31	25	33
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	0	0	0	0	0	25
2	0,52	0	0	0	0	0	33
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.47 – Tabela “4 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

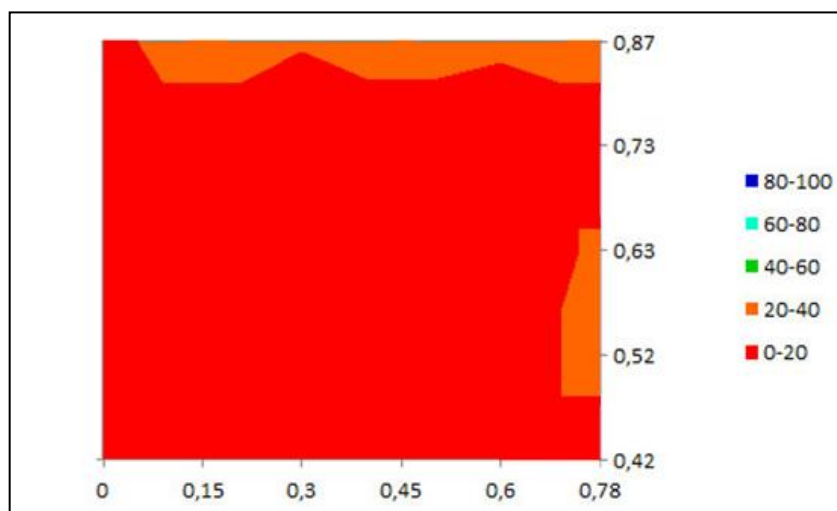


Figura B.48 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.47

• 8 Horas

8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	100	100	100	78	100	100
2	0,52	54	100	88	98	100	100
1	0,42	44	49	71	100	100	100
Base do provete							

Figura B.49 – Tabela “8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

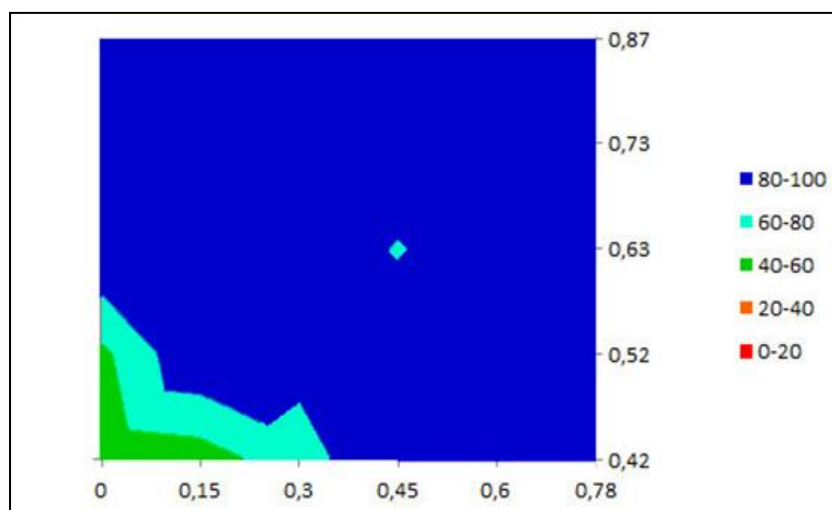


Figura B.50 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.49

8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	94	100	100
3	0,63	62	86	92	42	100	100
2	0,52	13	58	44	52	100	100
1	0,42	7	9	40	60	100	100
Base do provete							

Figura B.51 – Tabela “8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

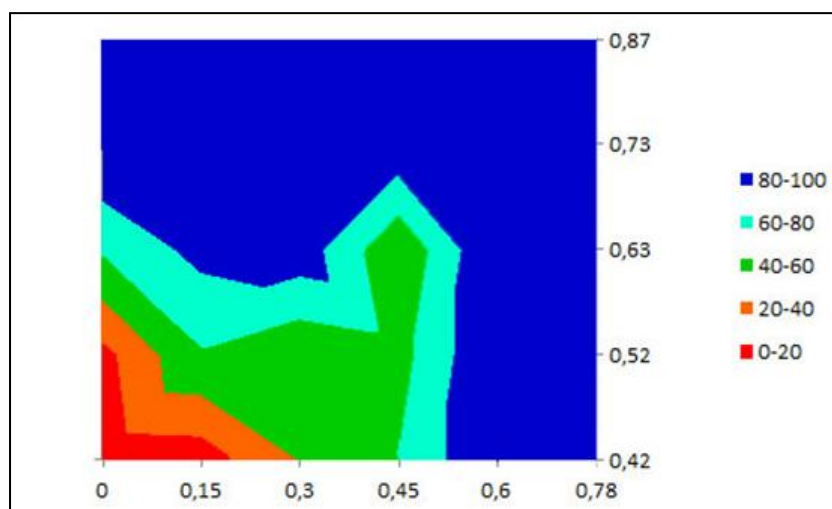


Figura B.52 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.51

8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	93	100	100	100	100	100
4	0,73	61	76	56	29	57	99
3	0,63	2	22	26	0	47	94
2	0,52	0	0	0	0	42	100
1	0,42	0	0	0	0	16	76
Base do provete							

Figura B.53 – Tabela “8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

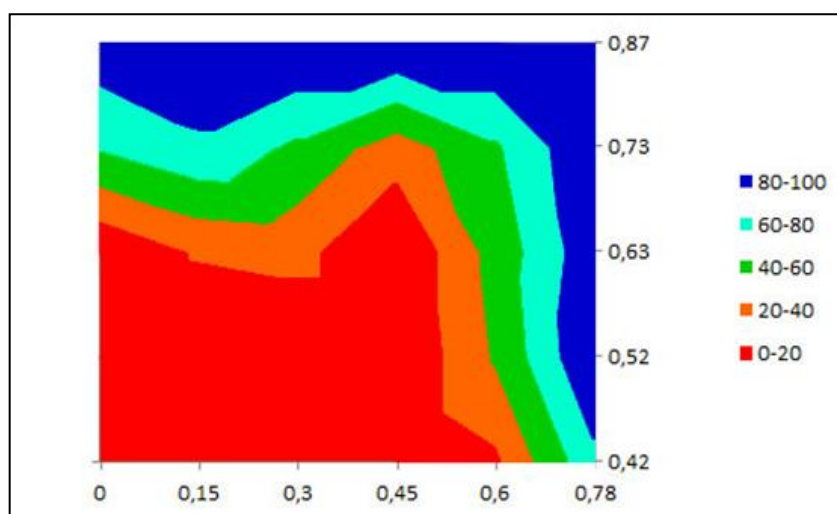


Figura B.54 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.53

8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	6	14	10	13	8	28
4	0,73	0	0	0	0	0	7
3	0,63	0	0	0	0	0	6
2	0,52	0	0	0	0	0	10
1	0,42	0	0	0	0	0	0
Base do provete							

Figura B.55 – Tabela “8 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

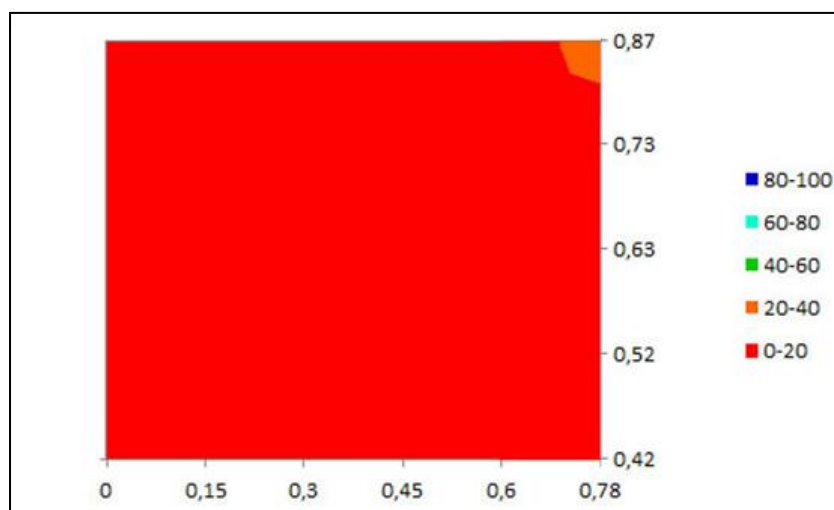


Figura B.56 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.55

- 28 Horas

28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	86	100	100	65	100	100
2	0,52	44	92	59	86	100	100
1	0,42	42	48	55	76	100	100
Base do provete							

Figura B.57 – Tabela “28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

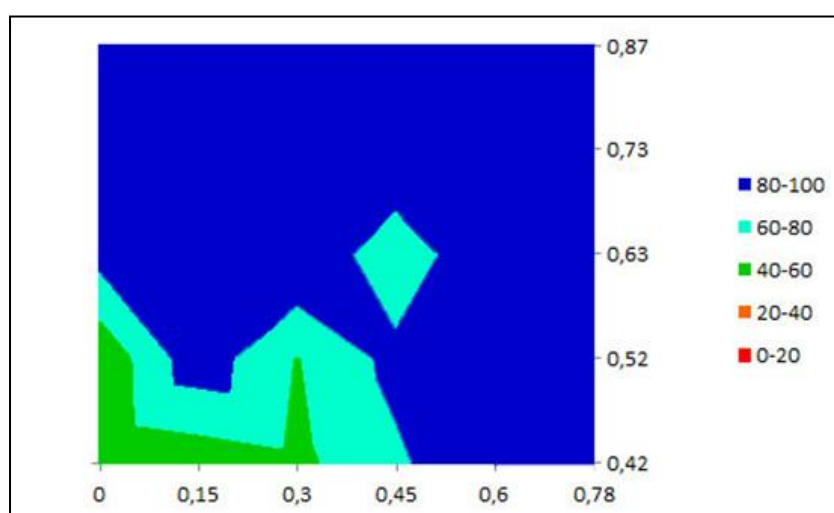


Figura B.58 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.57

28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	72	100	100
3	0,63	42	68	69	25	100	100
2	0,52	12	50	31	42	100	100
1	0,42	12	18	22	36	100	100
Base do provete							

Figura B.59 – Tabela “28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

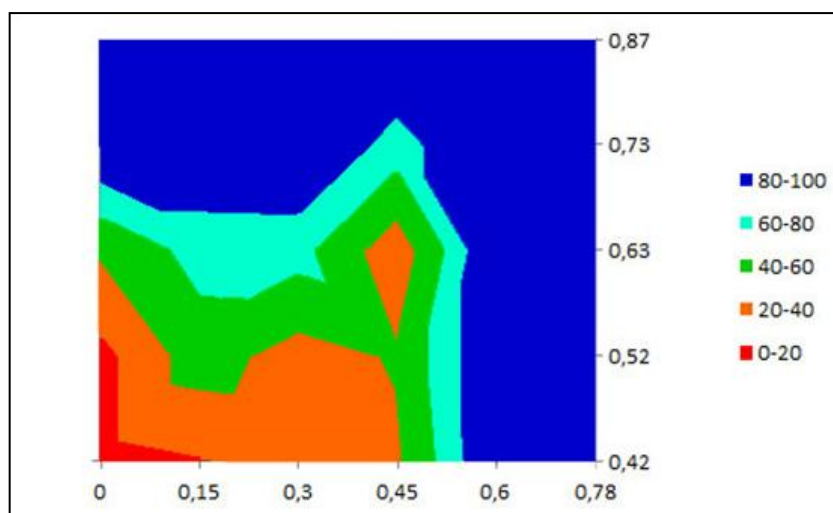


Figura B.60 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.59

28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	50	68	67	68	60	86
4	0,73	30	40	24	0	24	58
3	0,63	0	0	0	0	16	58
2	0,52	0	0	0	0	42	80
1	0,42	0	0	0	0	26	62
Base do provete							

Figura B.61 – Tabela “28 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

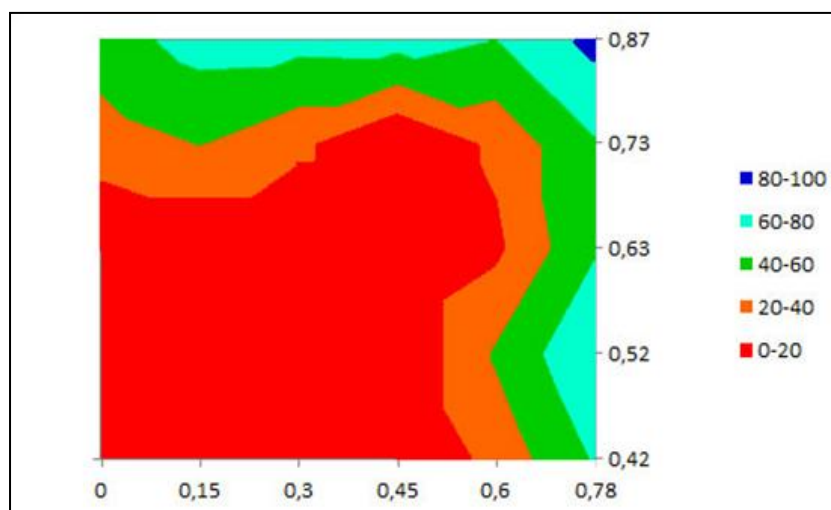


Figura B.62 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.61

- **52 Horas**

52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	83	100	100
3	0,63	62	88	80	33	100	100
2	0,52	30	62	42	47	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.63 – Tabela “52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

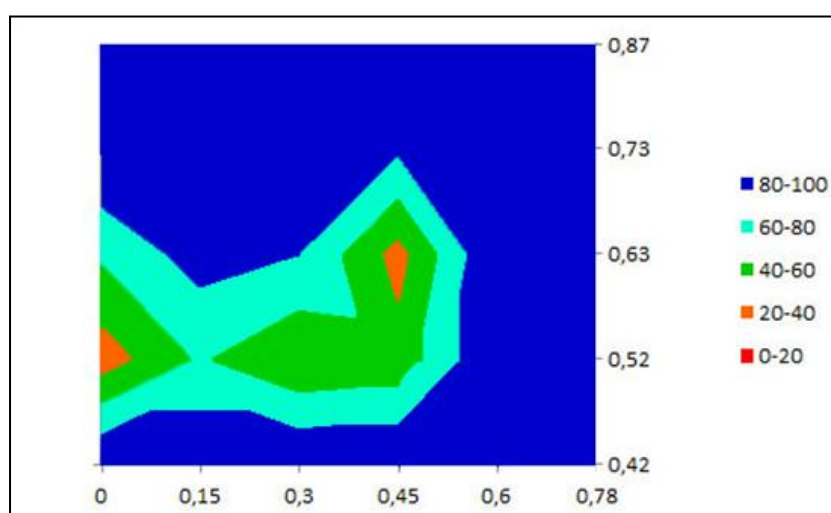


Figura B.64 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.63

52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	87	100	76	44	81	100
3	0,63	32	52	39	0	69	100
2	0,52	0	31	6	12	82	100
1	0,42	92	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.65 – Tabela “52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

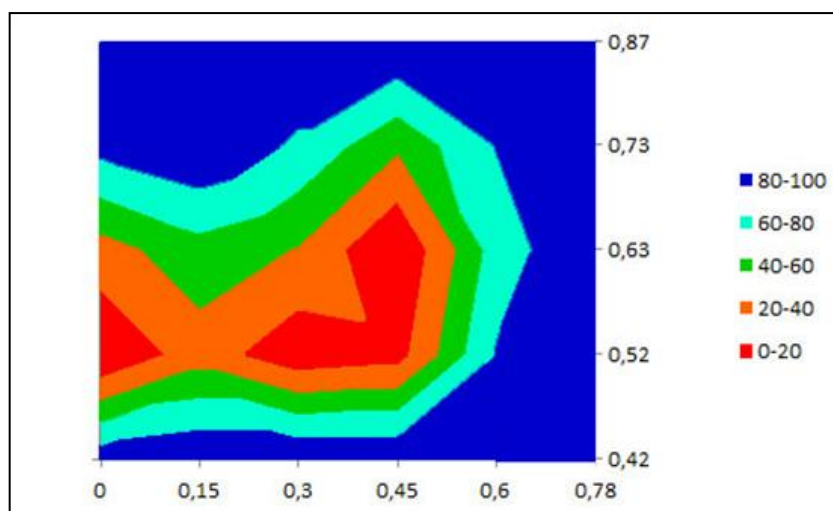


Figura B.66 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.65

52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	44	52	49	50	41	76
4	0,73	14	24	6	0	12	45
3	0,63	0	0	0	0	0	46
2	0,52	0	0	0	0	18	46
1	0,42	40	42	42	44	60	94
Base do provete							

Figura B.67 – Tabela “52 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

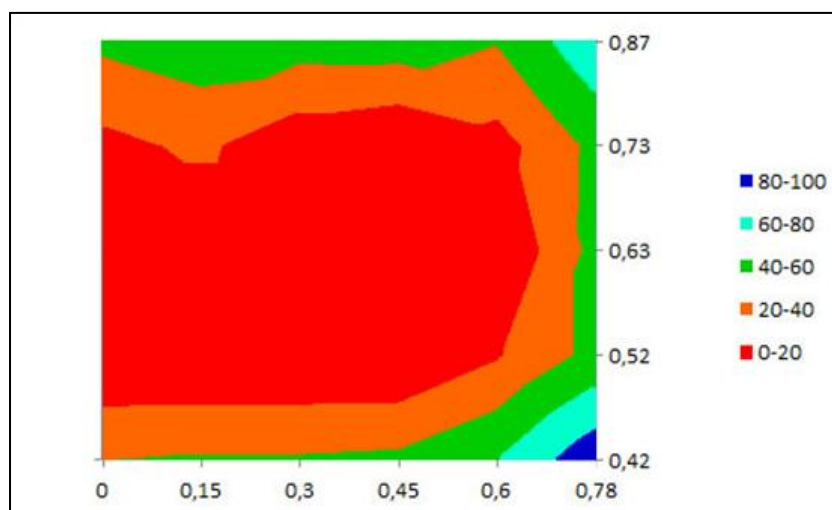


Figura B.68 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.67

- **100 Horas**

100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 6							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	100	100	100	96	100	100
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	64	94	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.69 – Tabela “100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 6”

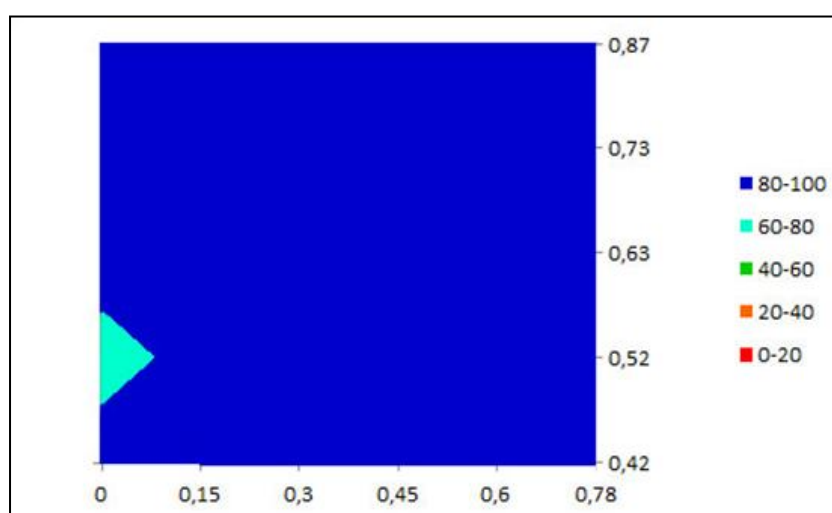


Figura B.70 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.69

100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	100	100	100	100	100	100
4	0,73	95	100	92	59	94	100
3	0,63	72	98	100	84	100	100
2	0,52	30	53	68	82	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.71 – Tabela “100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 5”

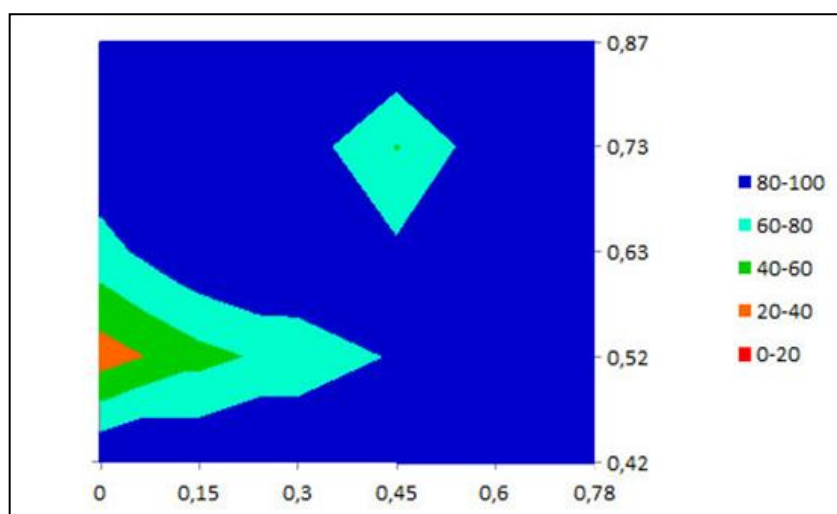


Figura B.72 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.71

100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	57	72	66	68	61	98
4	0,73	28	42	26	4	28	67
3	0,63	10	35	39	16	31	66
2	0,52	0	0	8	14	40	70
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.73 – Tabela “100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

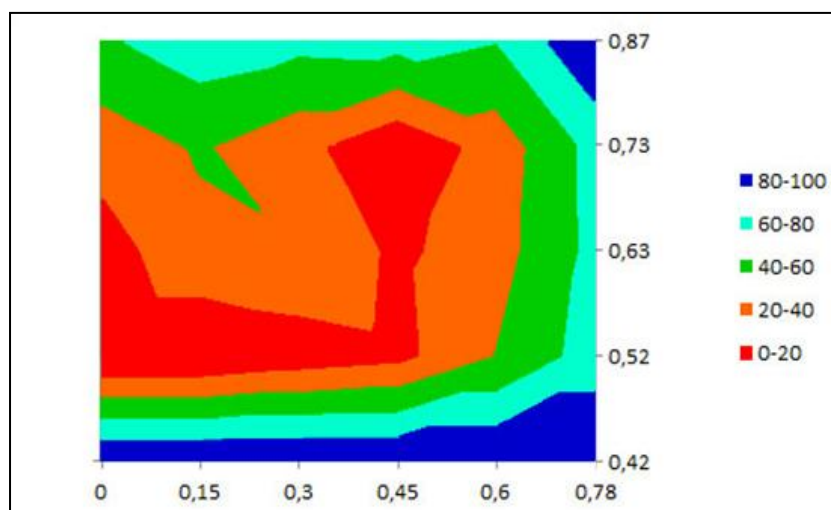


Figura B.74 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.73

100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	5	24	18	18	9	35
4	0,73	0	0	0	0	0	18
3	0,63	0	0	0	0	0	18
2	0,52	0	0	0	0	0	22
1	0,42	68	68	100	90	90	92
Base do provete							

Figura B.75 – Tabela “100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

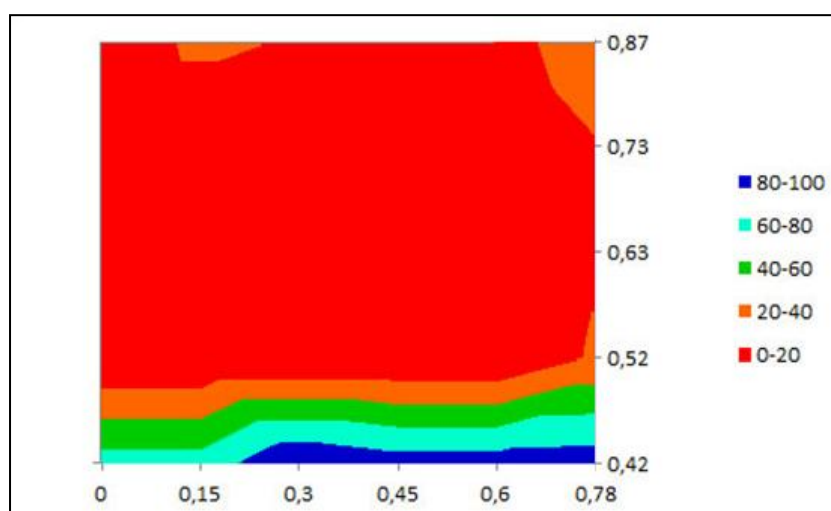


Figura B.76 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.75

100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	0	0	0	0	0	0
2	0,52	0	0	0	0	0	0
1	0,42	0	0	26	11	11	14
Base do provete							

Figura B.77 – Tabela “100 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

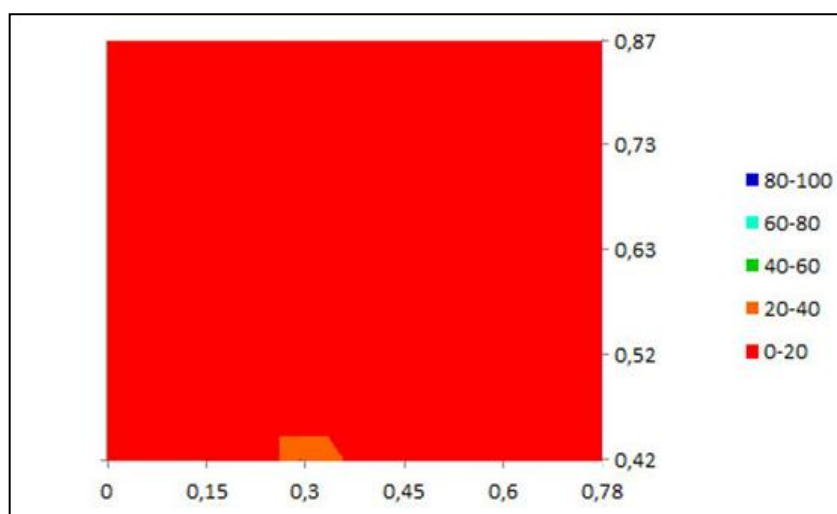


Figura B.78 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.77

- 148 Horas

148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	58	77	72	74	68	100
4	0,73	39	50	34	18	39	75
3	0,63	62	87	79	50	79	93
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.79 – Tabela “148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

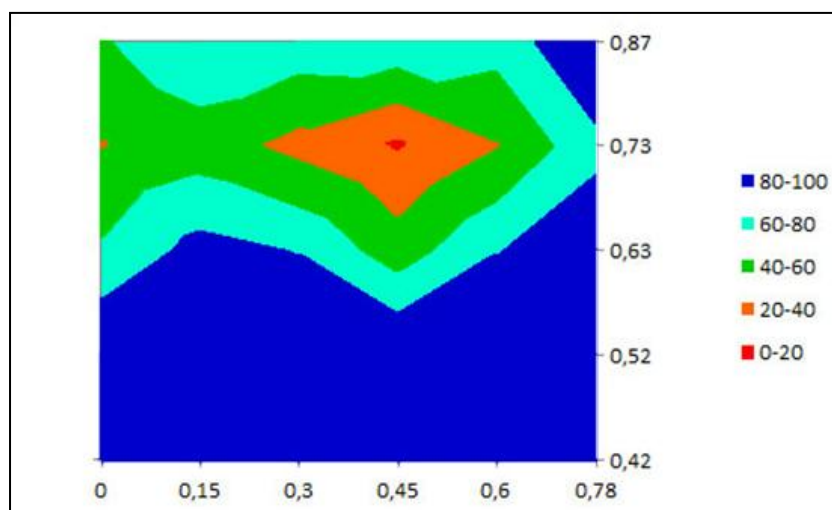


Figura B.80 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.79

148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	6	20	18	19	17	44
4	0,73	0	0	0	0	0	20
3	0,63	13	30	22	0	22	40
2	0,52	42	48	78	72	48	54
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.81 – Tabela “148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

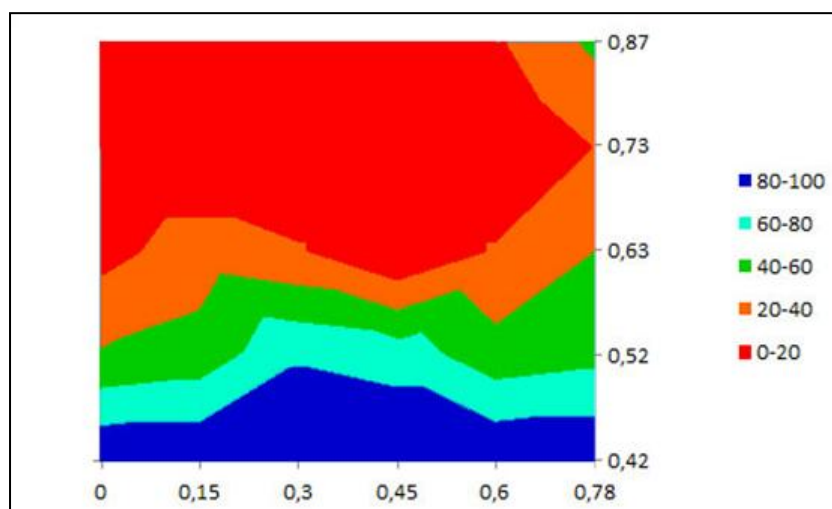


Figura B.82 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.81

148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	0	0	0	0	0	0
2	0,52	0	0	0	0	0	0
1	0,42	16	22	18	16	22	12
Base do provete							

Figura B.83 – Tabela “148 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

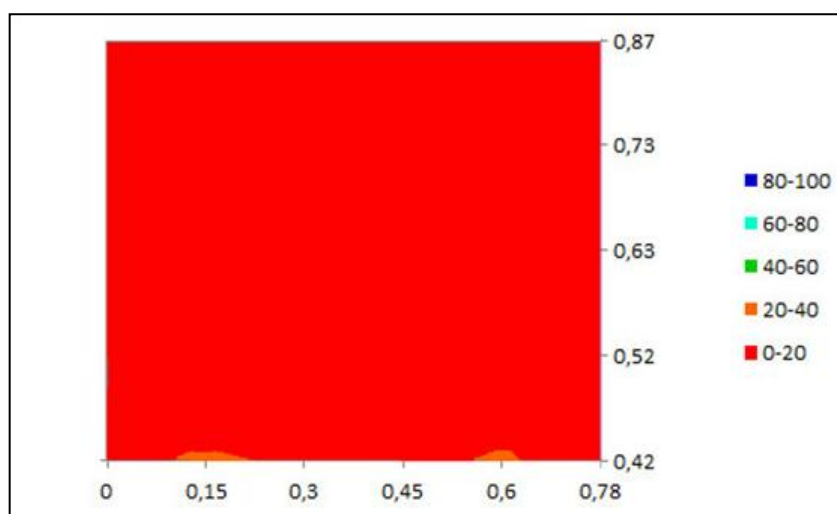


Figura B.84 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.83

- 196 Horas**

196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	62	82	80	85	72	100
4	0,73	61	62	55	59	59	85
3	0,63	97	100	100	91	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.85 – Tabela “196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

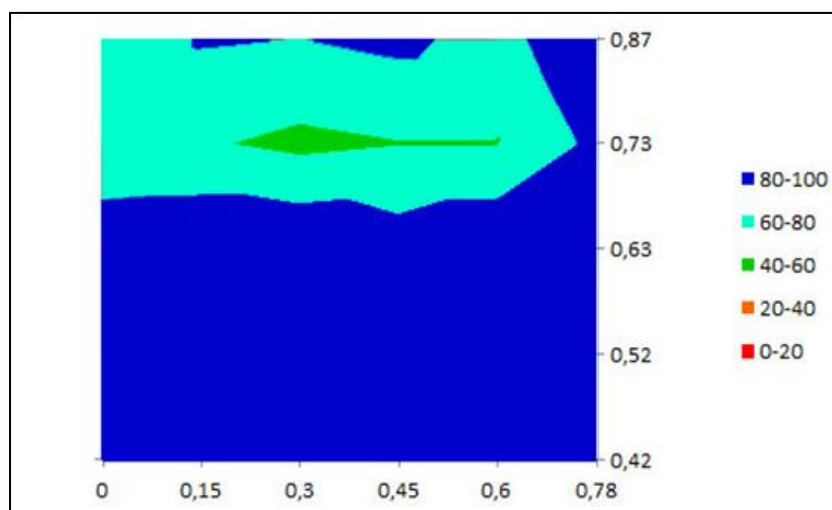


Figura B.86 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.85

196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	20	33	32	34	26	52
4	0,73	18	20	14	16	16	34
3	0,63	44	54	47	36	55	69
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.87 – Tabela “196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

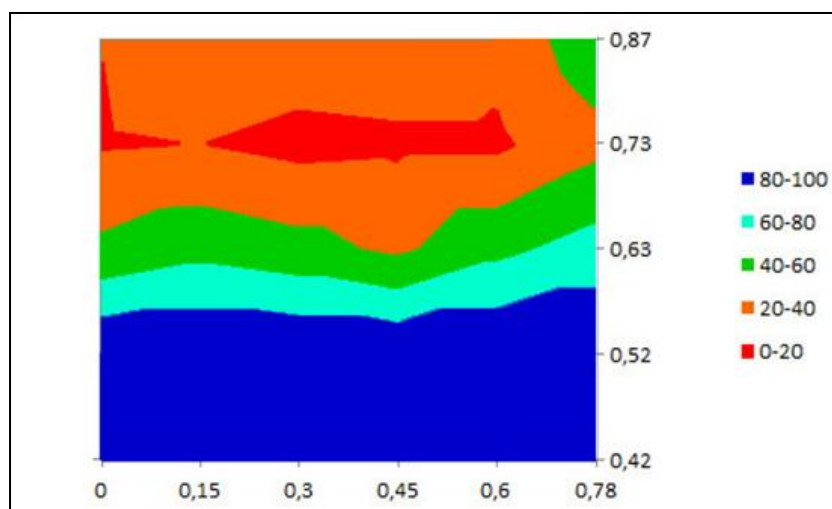


Figura B.88 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.87

196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	0	0	0	0	0	0
2	0,52	19	20	30	28	21	18
1	0,42	24	26	32	33	38	30
Base do provete							

Figura B.89 – Tabela “196 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

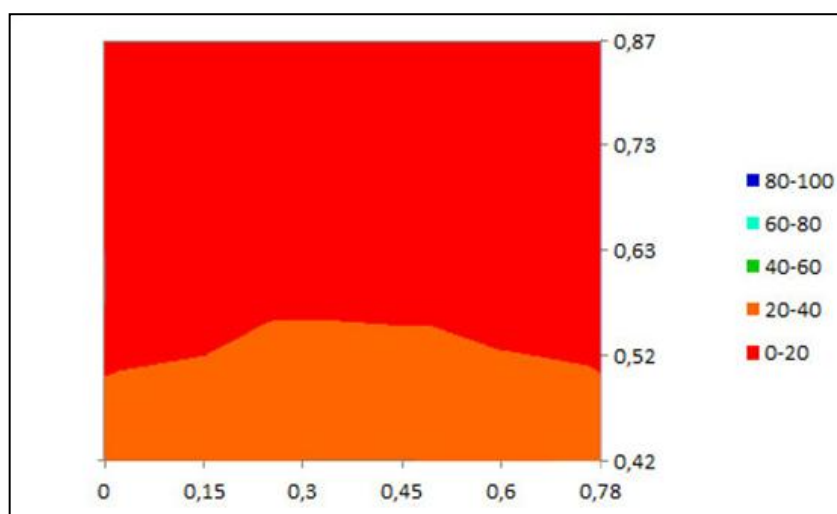


Figura B.90 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.89

- **268 Horas**

268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	14	32	26	27	18	52
4	0,73	58	61	50	55	48	57
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.91 – Tabela “268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

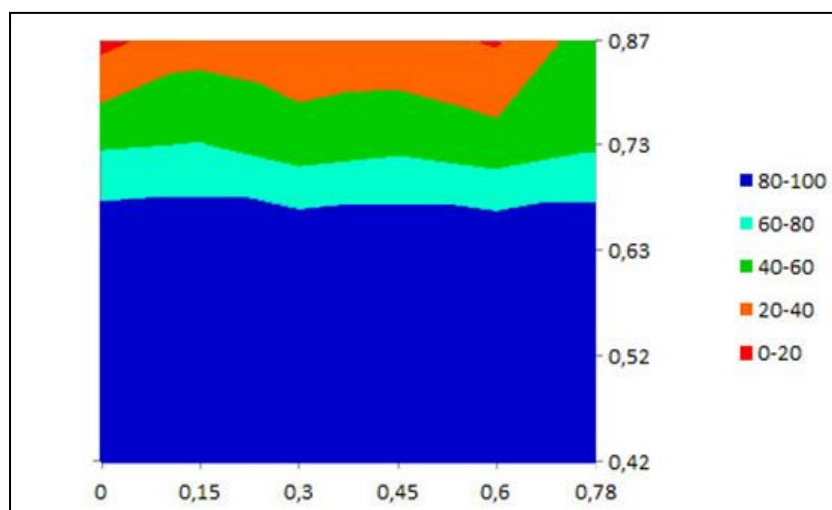


Figura B.92 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.91

268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	66	68	82	84	90	52
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.93 – Tabela “268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

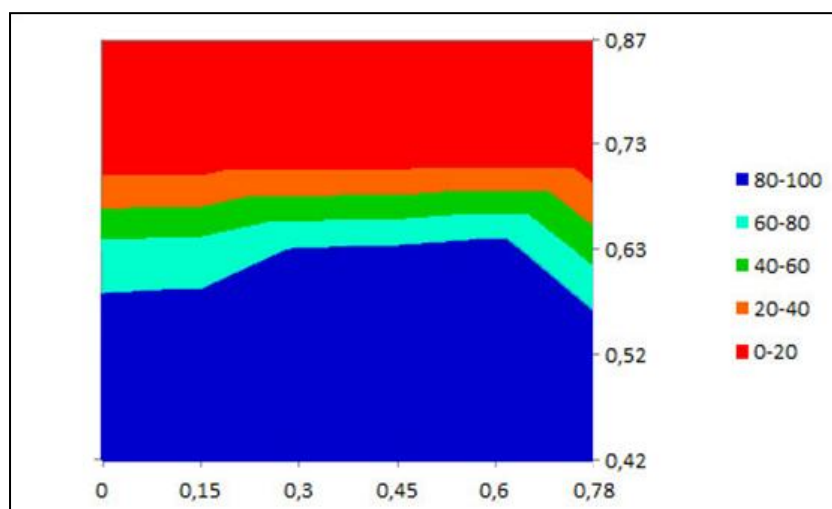


Figura B.94 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.93

268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	0	0	0	0	0	0
2	0,52	28	31	34	33	38	38
1	0,42	21	21	26	28	34	22
Base do provete							

Figura B.95 – Tabela “268 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

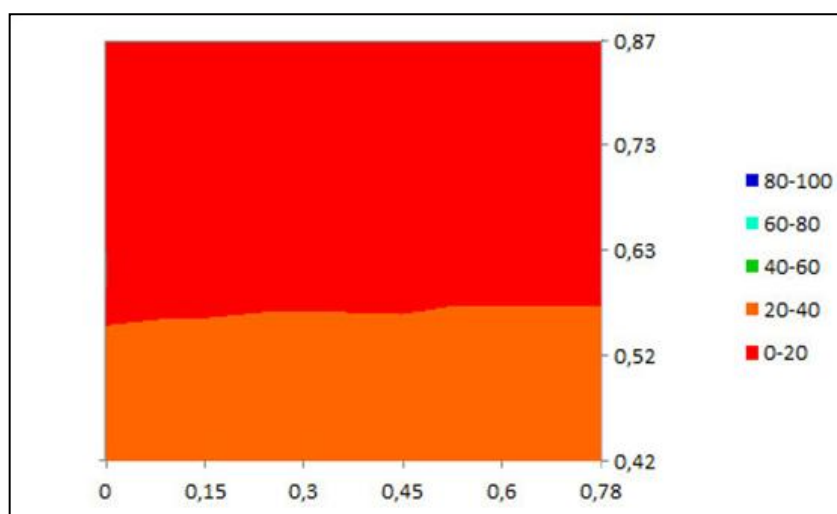


Figura B.96 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.95

- 340 Horas**

340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 4							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	40	58	53	64	49	75
4	0,73	82	87	77	83	74	100
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.97 – Tabela “340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 4”

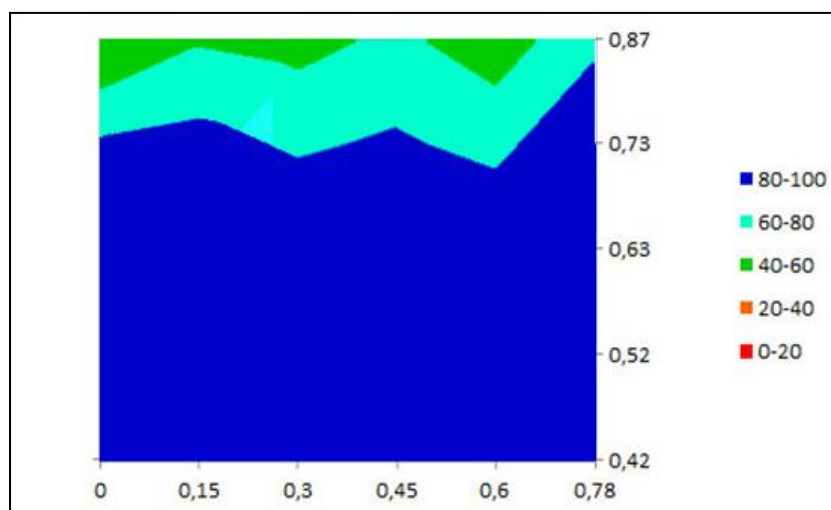


Figura B.98 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.97

340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	13	12	18	8	27
4	0,73	36	39	33	37	27	45
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.99 – Tabela “340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

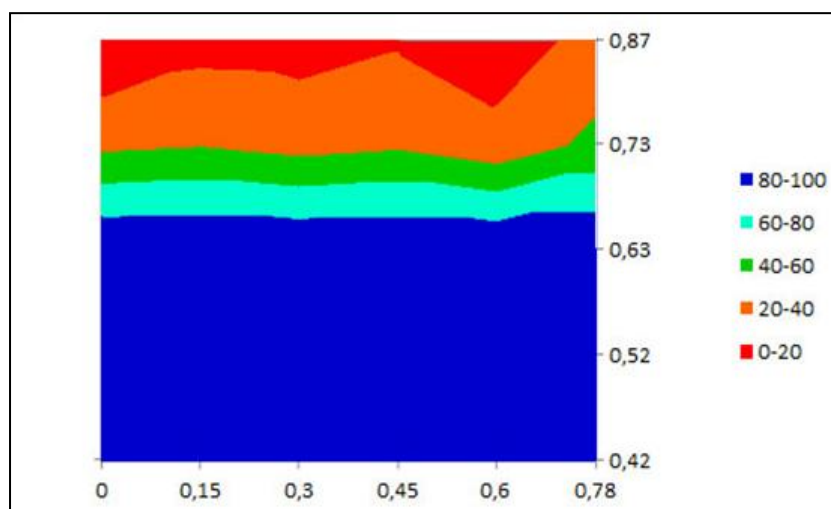


Figura B.100 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.99

340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	0	0	0	0	0	0
3	0,63	22	22	24	25	30	21
2	0,52	31	33	38	40	42	44
1	0,42	21	22	26	30	38	22
Base do provete							

Figura B.101 – Tabela “340 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

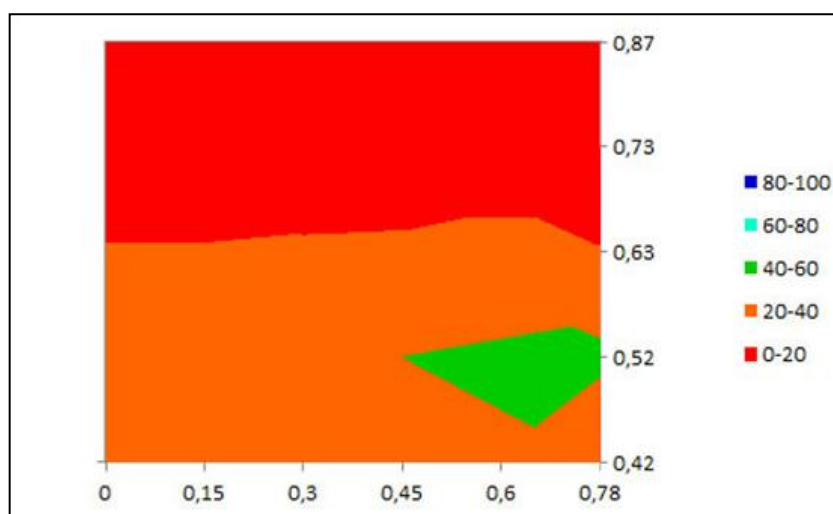


Figura B.102 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.101

- **436 Horas**

436 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	25	44	56	60	52	45
4	0,73	65	67	100	100	100	72
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.103 – Tabela “436 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

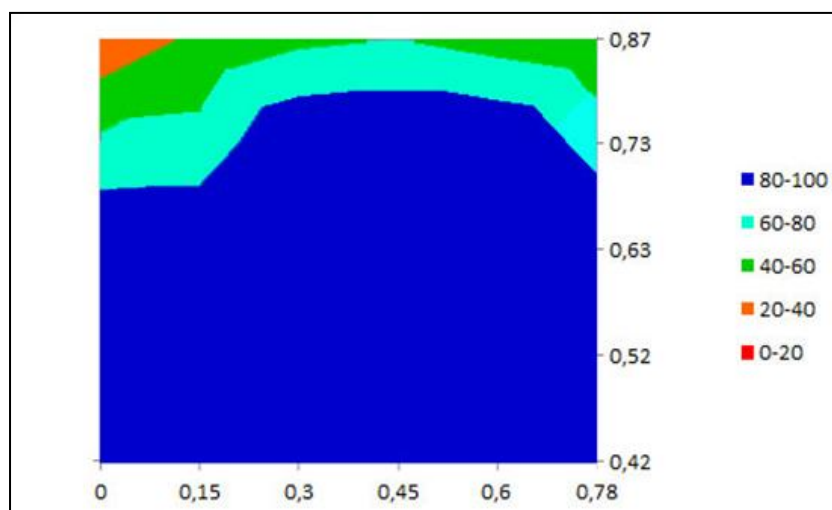


Figura B.104 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.103

436 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	0	0	0	0	0
4	0,73	8	8	20	24	22	11
3	0,63	24	28	30	24	34	42
2	0,52	38	38	41	46	48	50
1	0,42	23	24	25	36	44	28
Base do provete							

Figura B.105 – Tabela “436 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

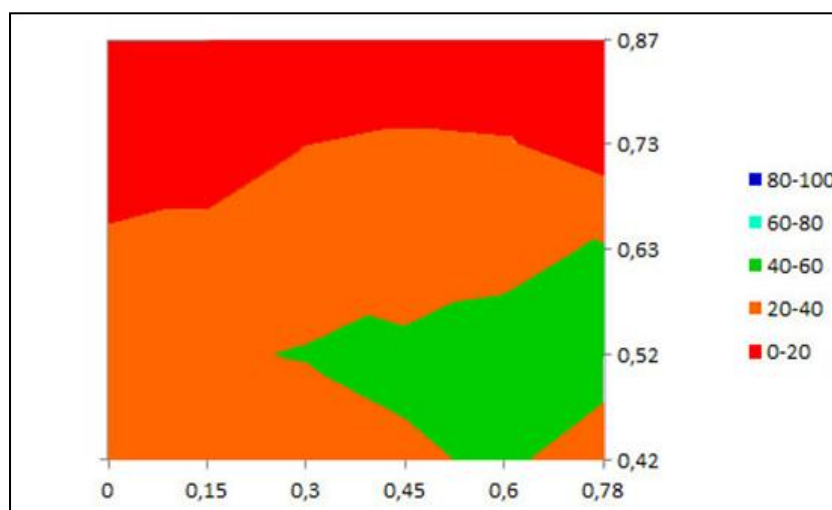


Figura B.106 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.105

- **532 Horas**

532 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3,5							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	68	80	90	94	85	89
4	0,73	100	100	100	100	100	100
3	0,63	100	100	100	100	100	100
2	0,52	100	100	100	100	100	100
1	0,42	100	100	100	100	100	100
Base do provete							

Figura B.107 – Tabela “532 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3,5”

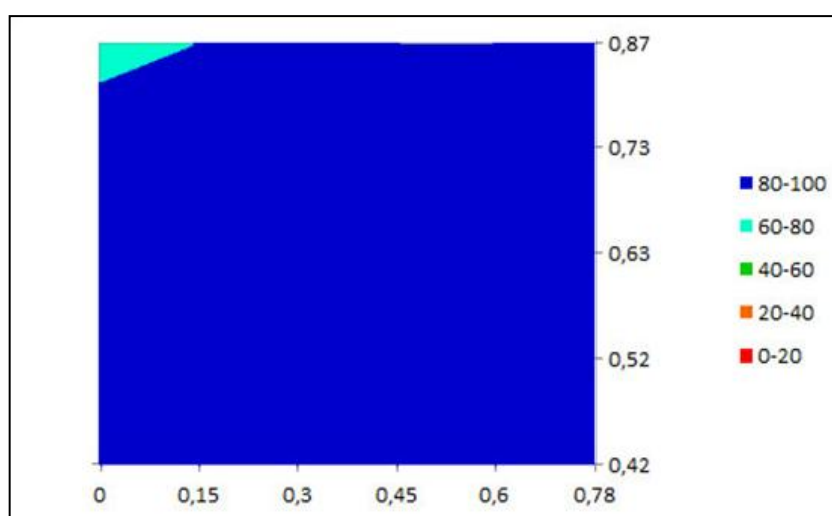


Figura B.108 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.107

532 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade - 3							
Pontos		A	B	C	D	E	F
		0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,78
5	0,87	0	6	11	12	8	10
4	0,73	22	28	35	30	30	26
3	0,63	27	28	30	24	36	42
2	0,52	36	36	38	42	44	47
1	0,42	21	22	22	28	38	18
Base do provete							

Figura B.109 – Tabela “532 horas após embebição parcial do provete_Escala de sensibilidade de nível 3”

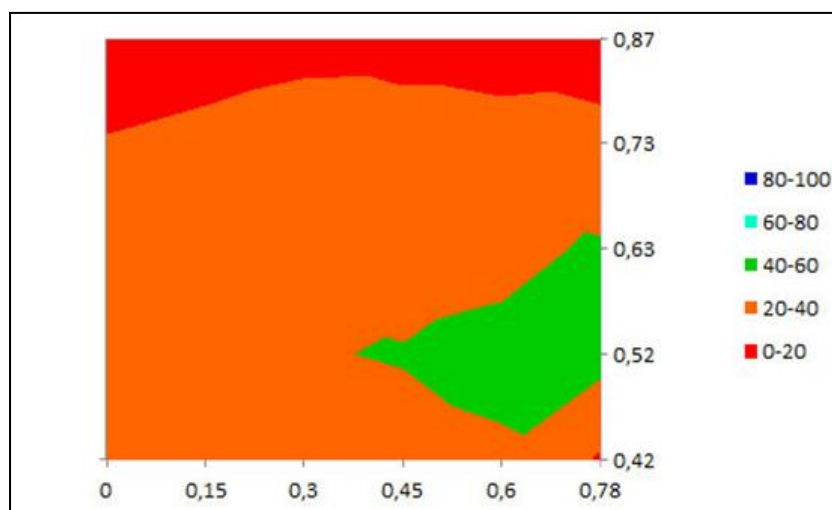


Figura B.110 – Gráfico correspondente à tabela da Figura B.109

ANEXO C

Anexo C – Fotografias e respetivos termogramas obtidos para o estudo relativo à humidade de precipitação (infiltrações)

Parte I – Sala B 108 da FEUP

Parte II – Cafetaria da FEUP

Parte III – Quarto de uma habitação multifamiliar

Parte III.1 – Parede A do quarto

Parte III.2 – Parede B do quarto

PARTE I

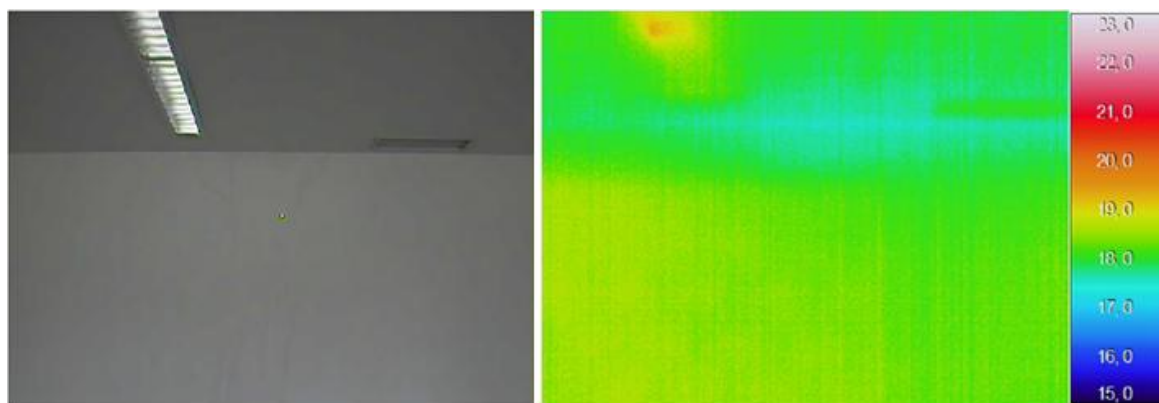


Figura C.1 – Fotografia e termograma

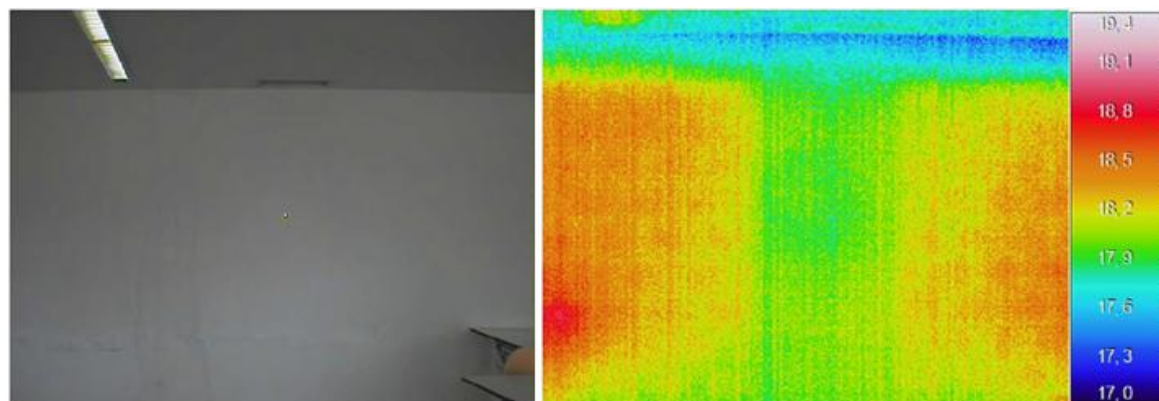


Figura C.2 – Fotografia e termograma

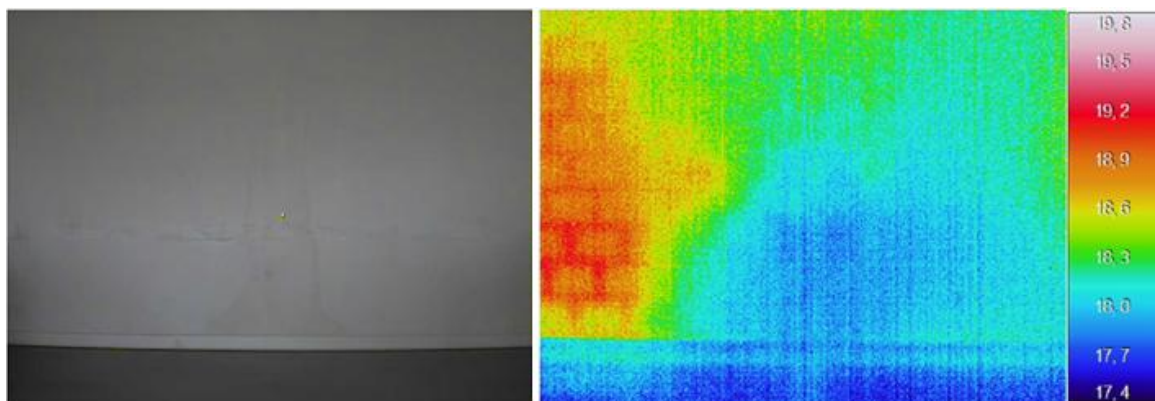


Figura C.3 – Fotografia e termograma

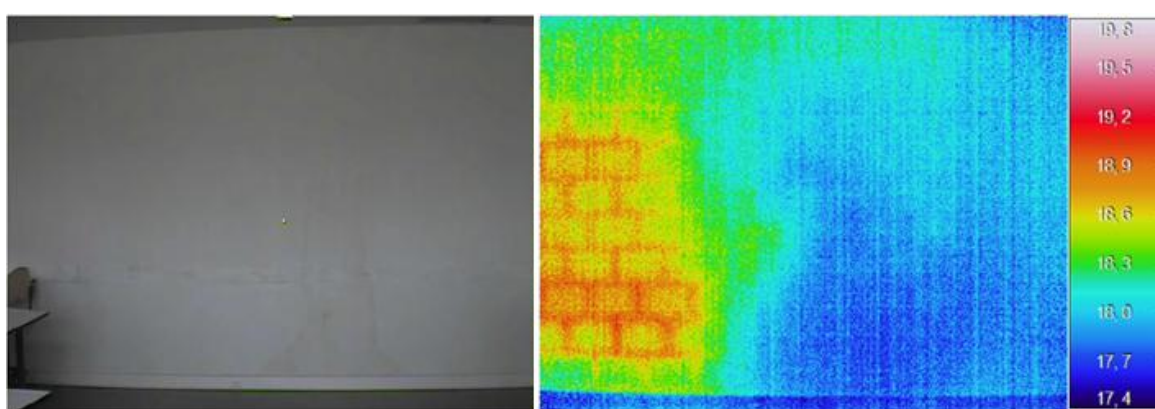


Figura C.4 – Fotografia e termograma

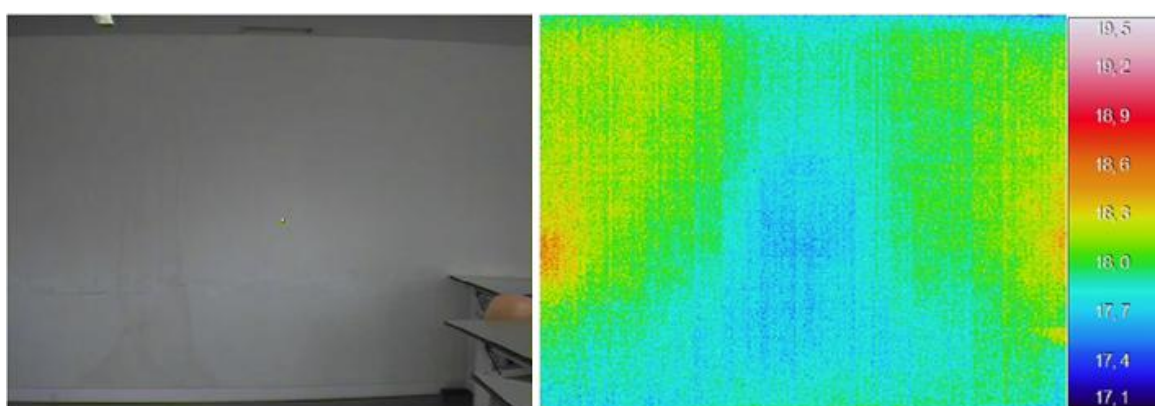


Figura C.5 – Fotografia e termograma

PARTE II

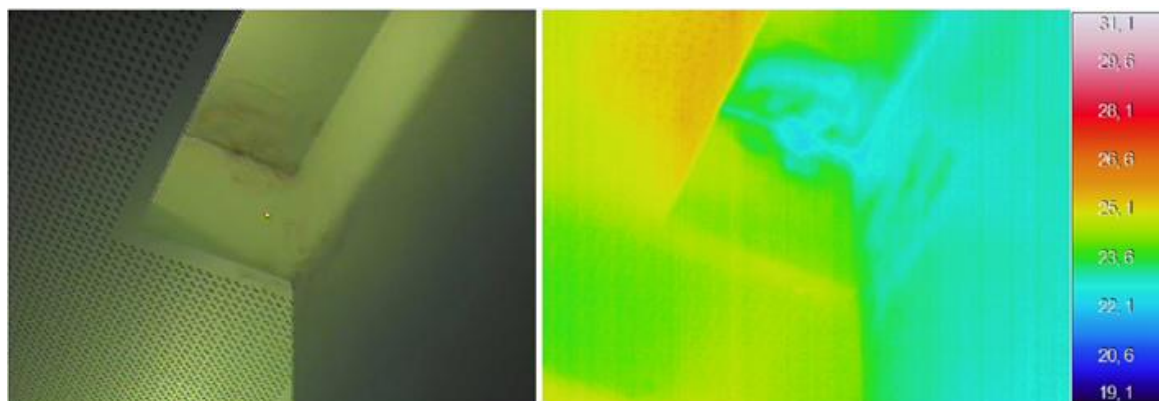


Figura C.6 – Fotografia e termograma

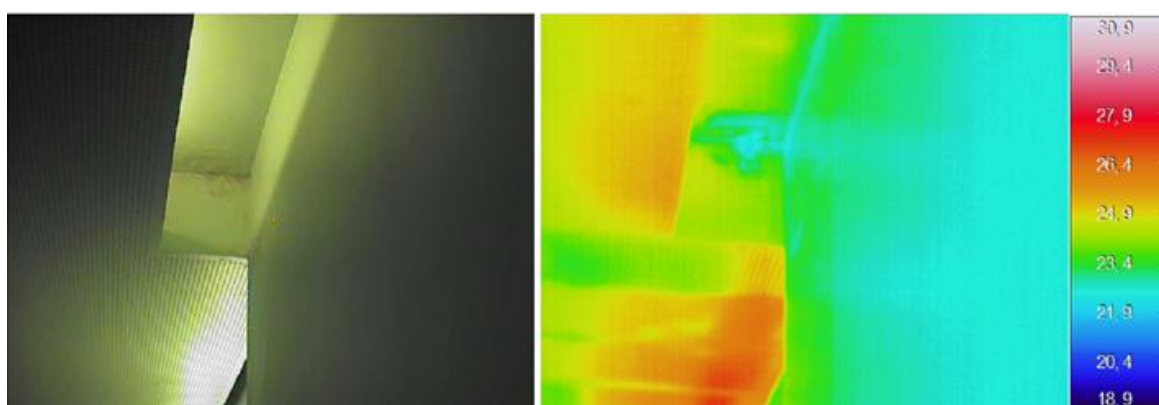


Figura C.7 – Fotografia e termograma

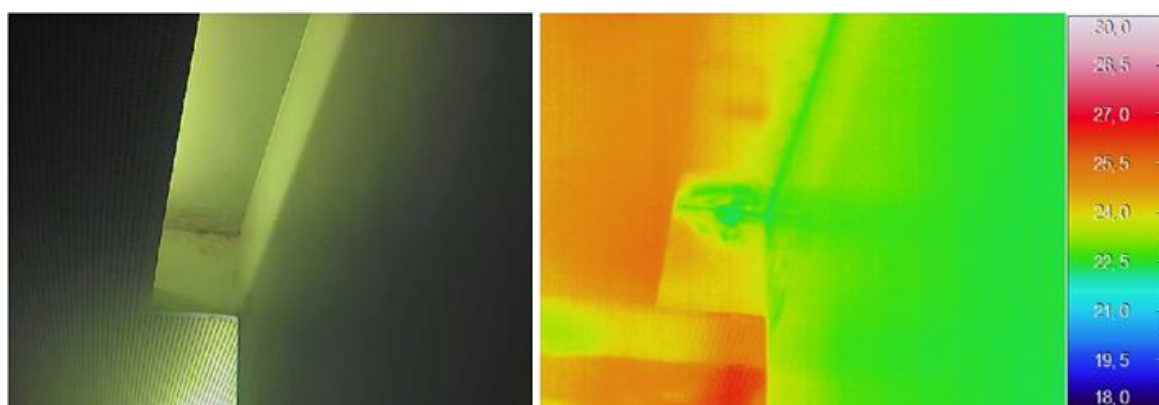


Figura C.8 – Fotografia e termograma

PARTE III

PARTE III.1

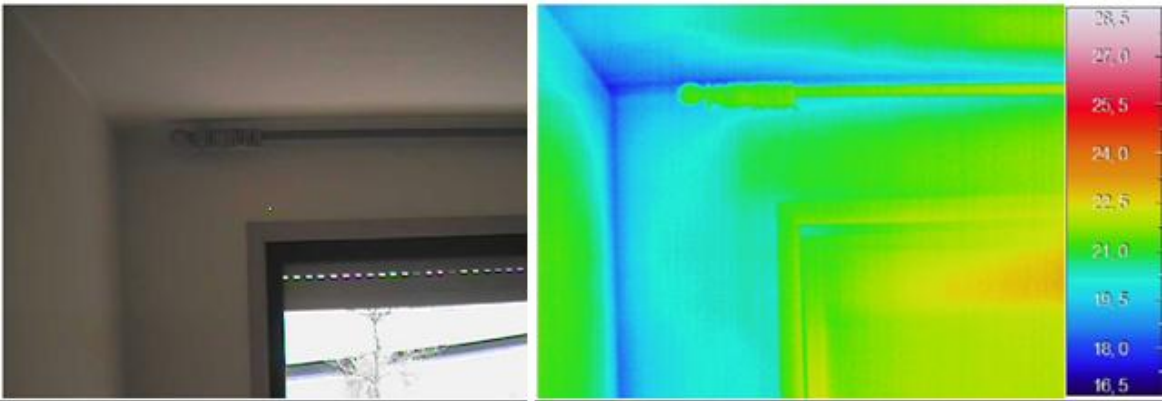


Figura C.9 – Fotografia e termograma

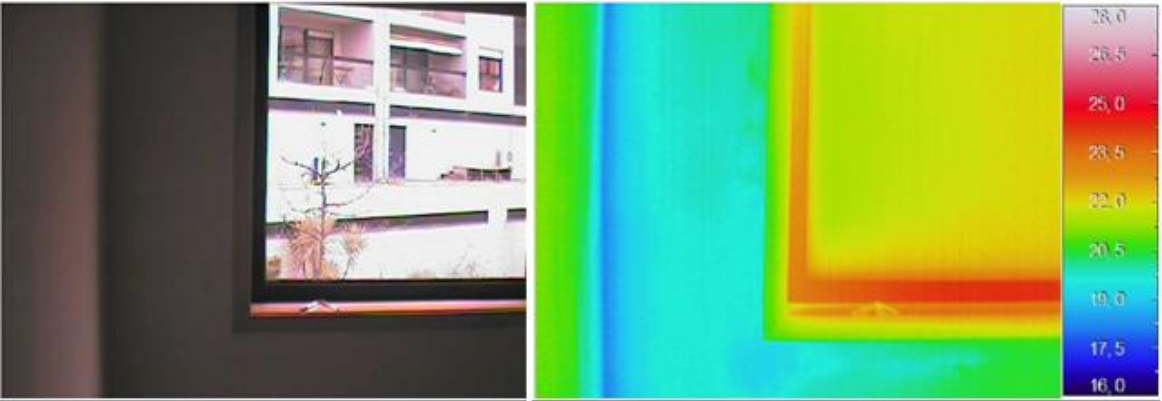


Figura C.10 – Fotografia e termograma

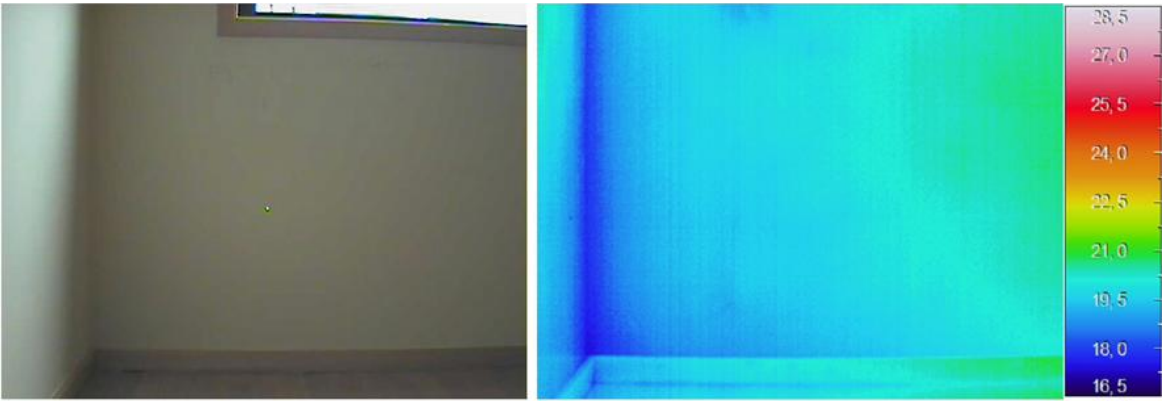


Figura C.11 – Fotografia e termograma

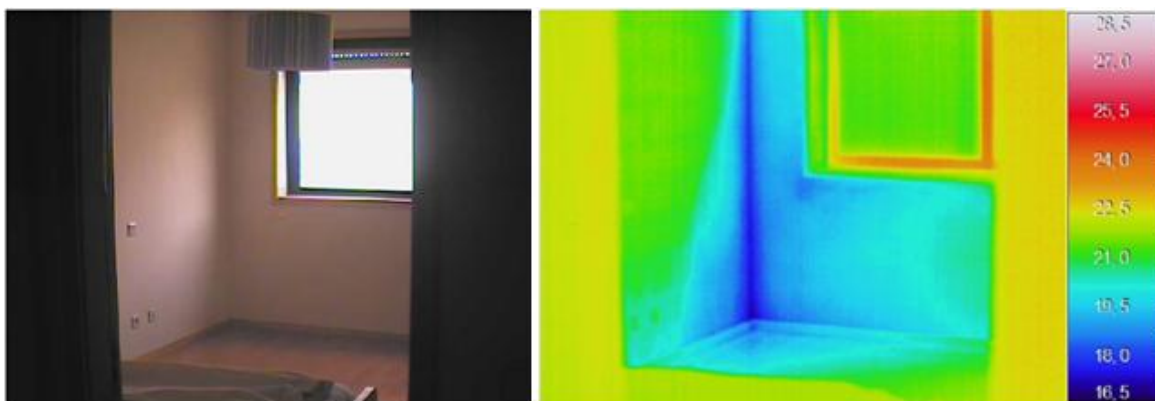


Figura C.12 – Fotografia e termograma

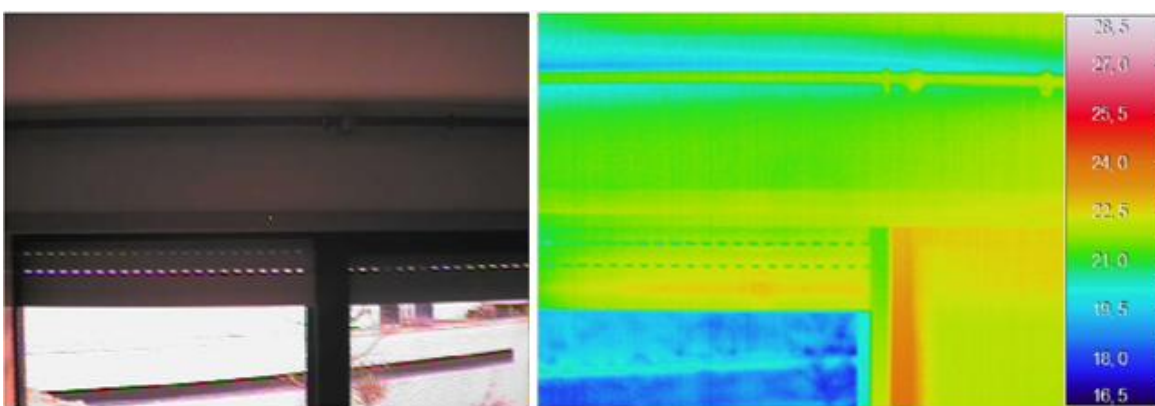


Figura C.13 – Fotografia e termograma

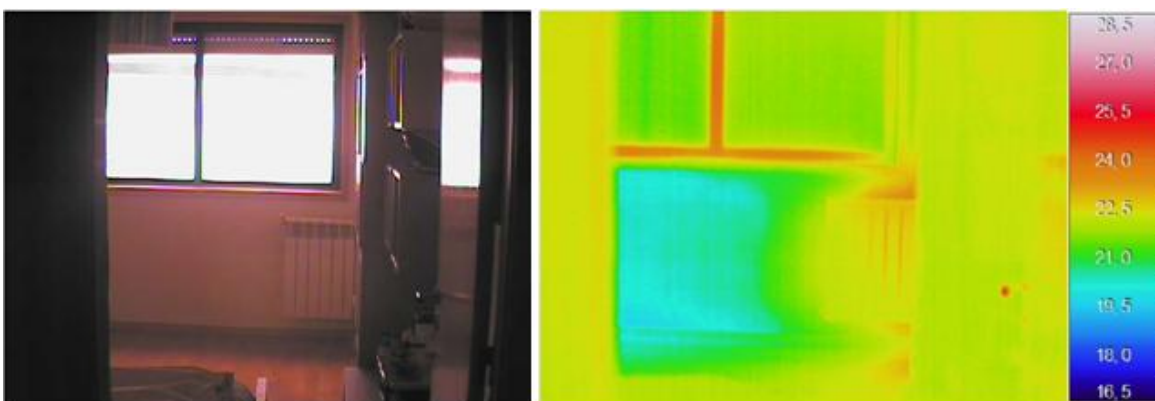


Figura C.14 – Fotografia e termograma

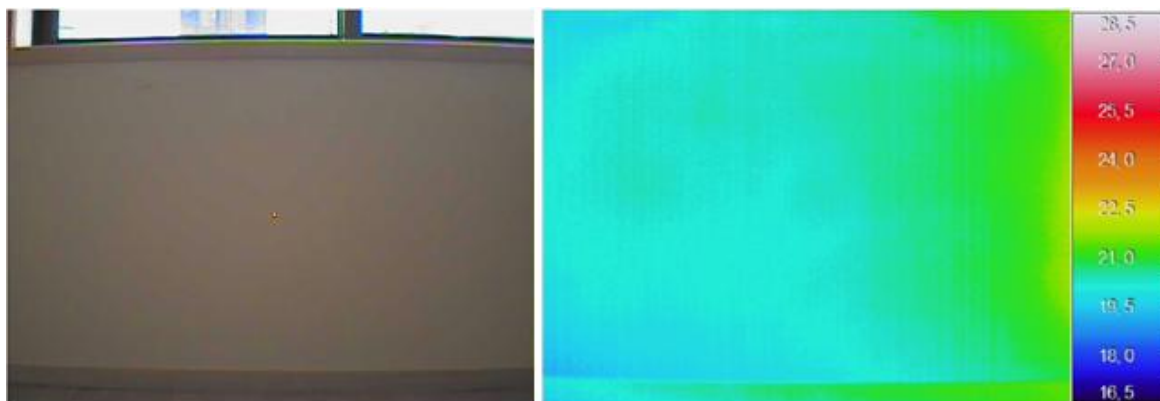


Figura C.15 – Fotografia e termograma

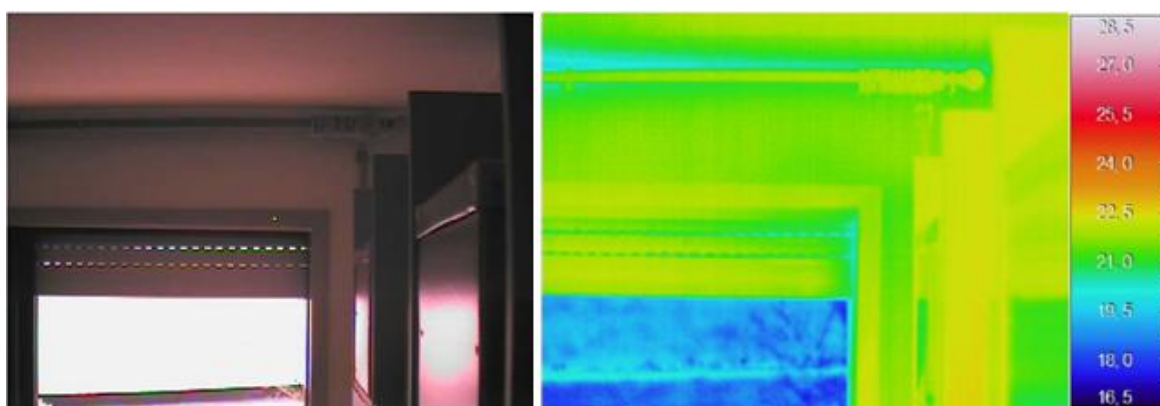


Figura C.16 – Fotografia e termograma

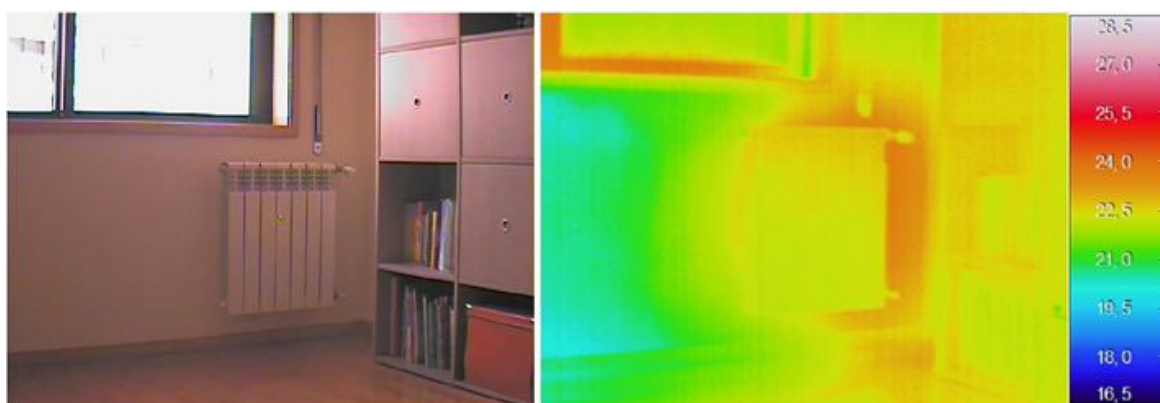


Figura C.17 – Fotografia e termograma

PARTE III.2

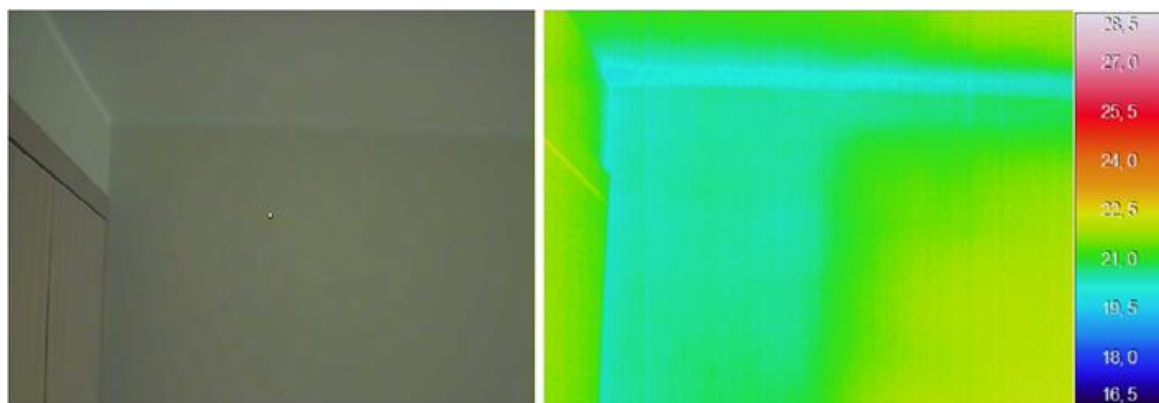


Figura C.18 – Fotografia e termograma

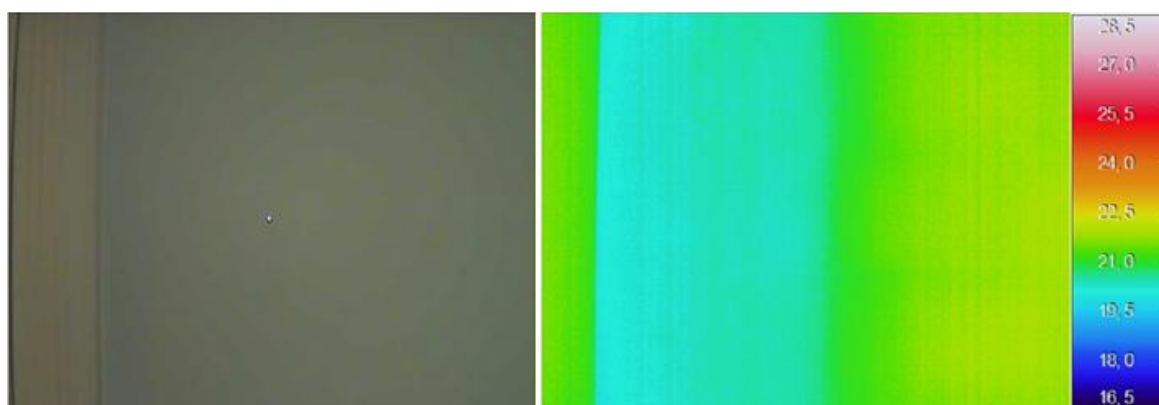


Figura C.19 – Fotografia e termograma

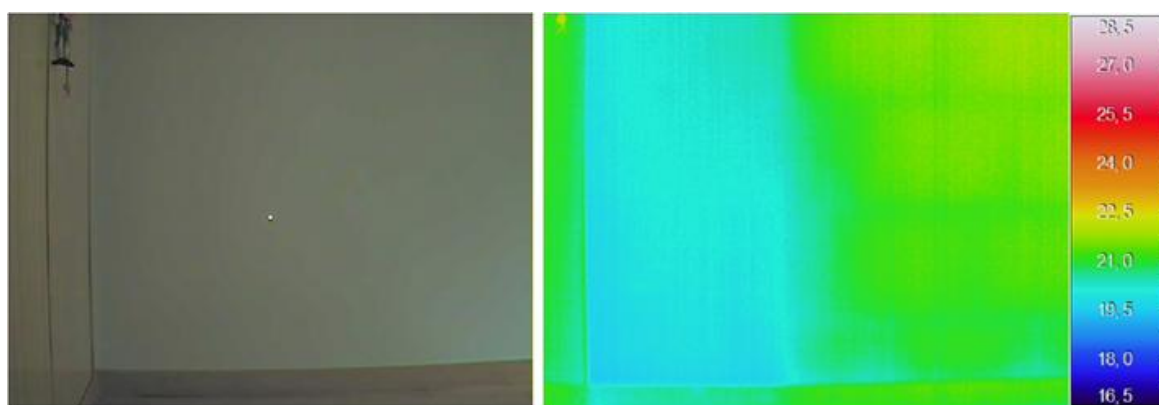


Figura C.20 – Fotografia e termograma

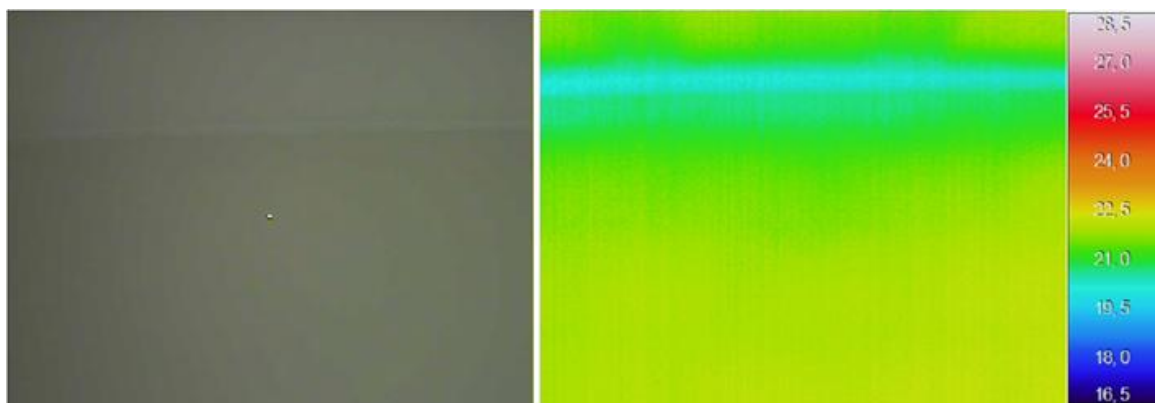


Figura C.21 – Fotografia e termograma

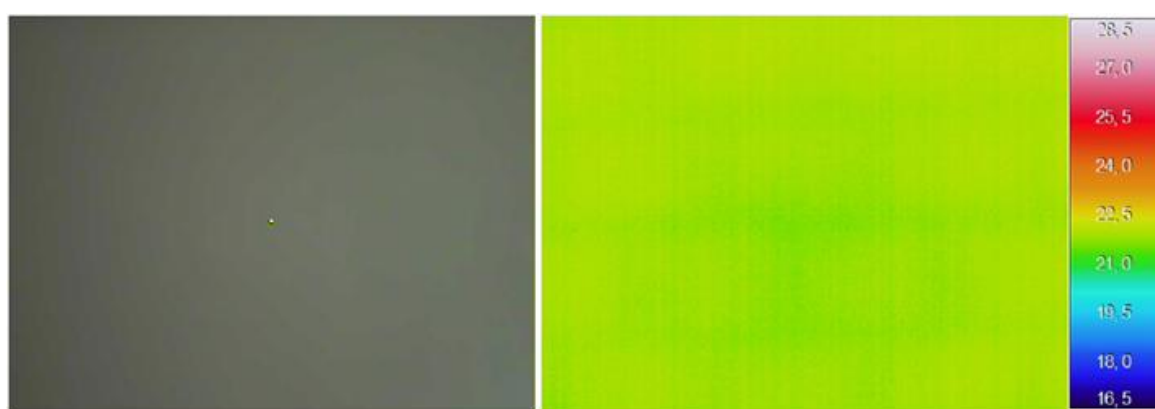


Figura C.22 – Fotografia e termograma

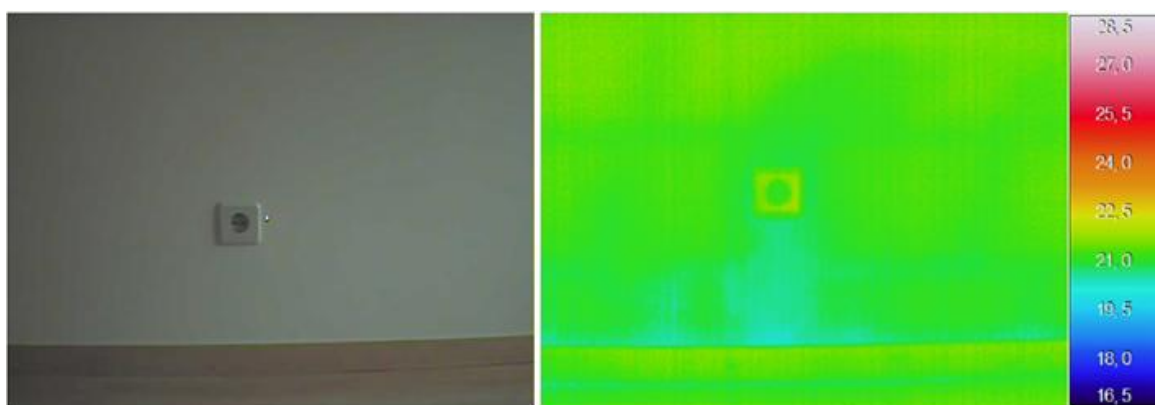


Figura C.23 – Fotografia e termograma

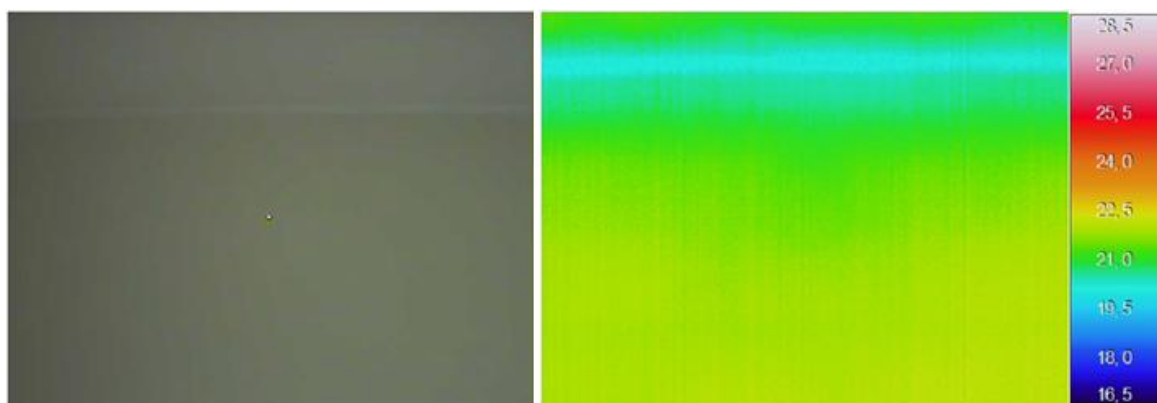


Figura C.24 – Fotografia e termograma

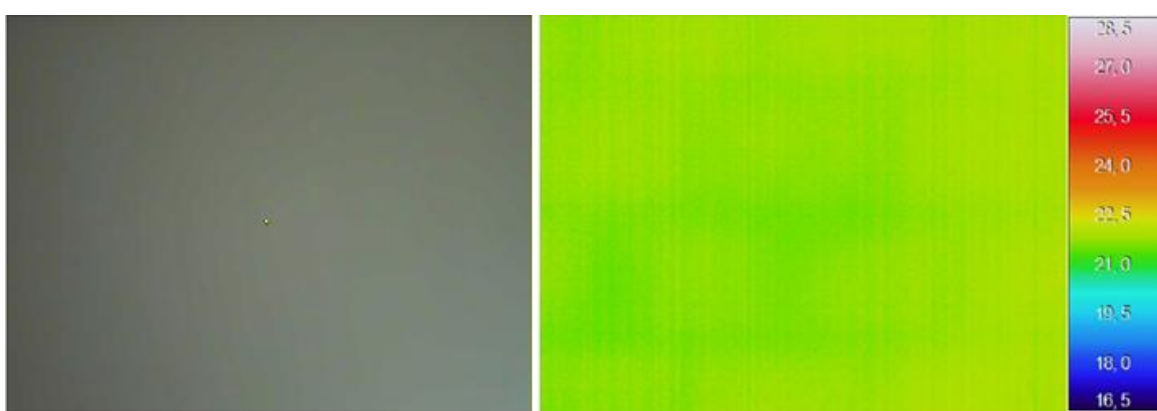


Figura C.25 – Fotografia e termograma

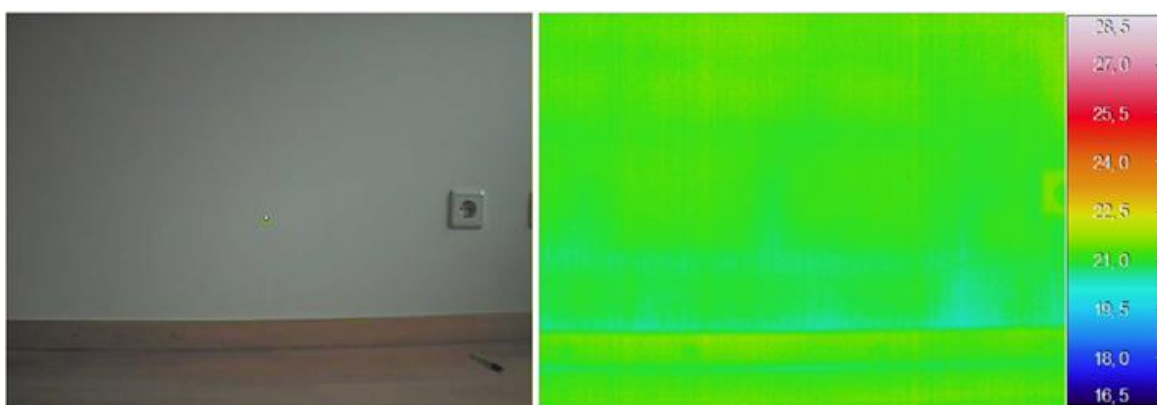


Figura C.26 – Fotografia e termograma

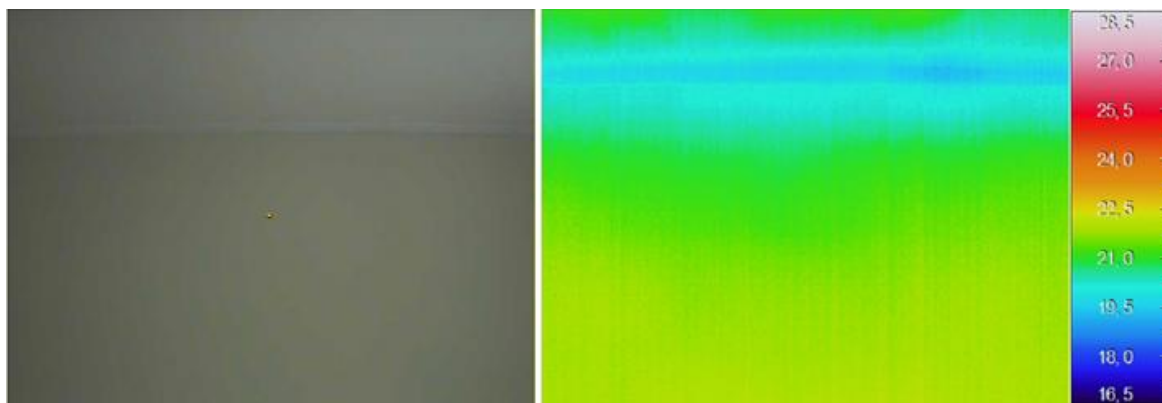


Figura C.27 – Fotografia e termograma

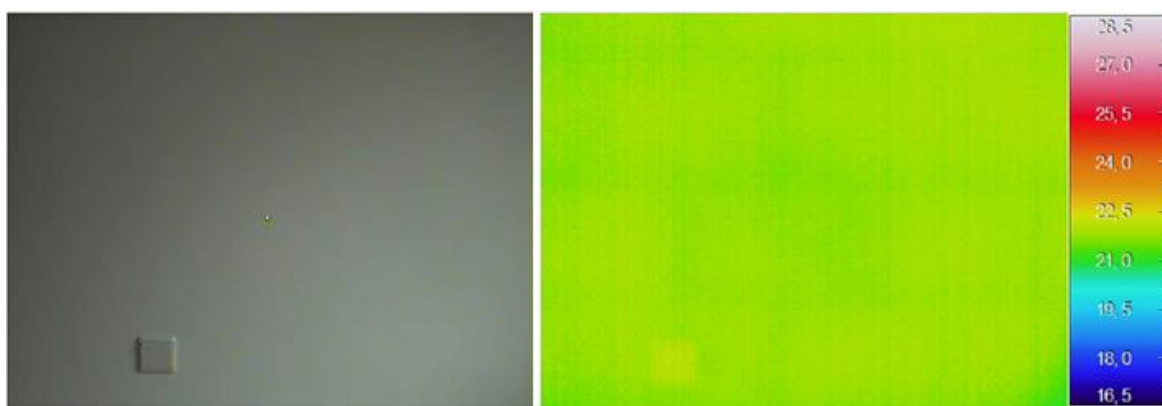


Figura C.28 – Fotografia e termograma

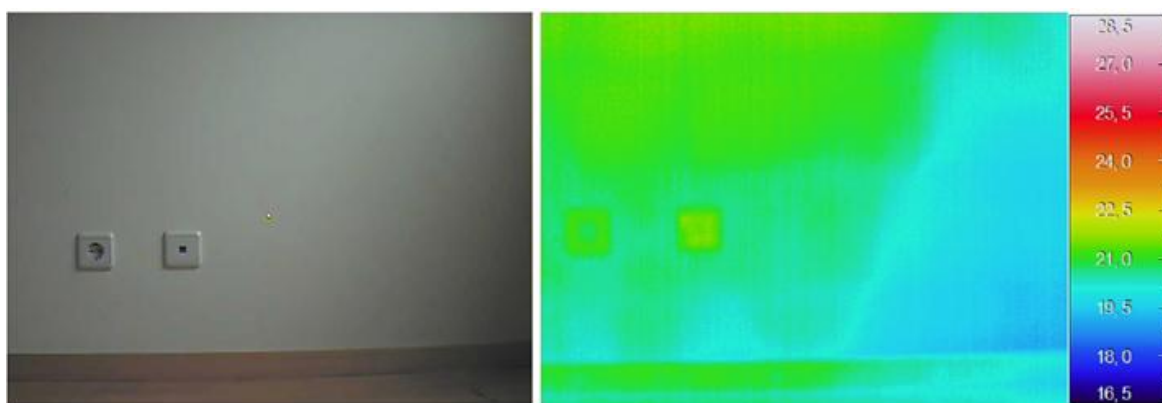


Figura C.29 – Fotografia e termograma

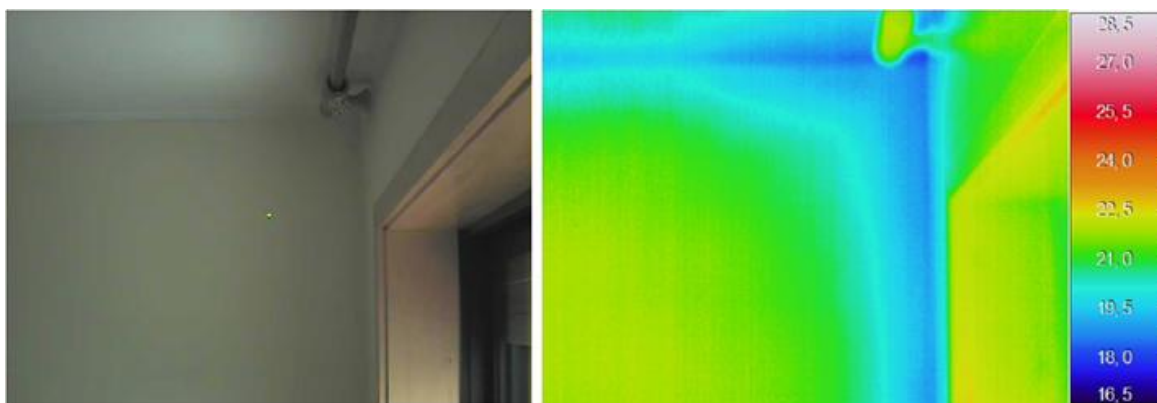


Figura C.30 – Fotografia e termograma



Figura C.31 – Fotografia e termograma

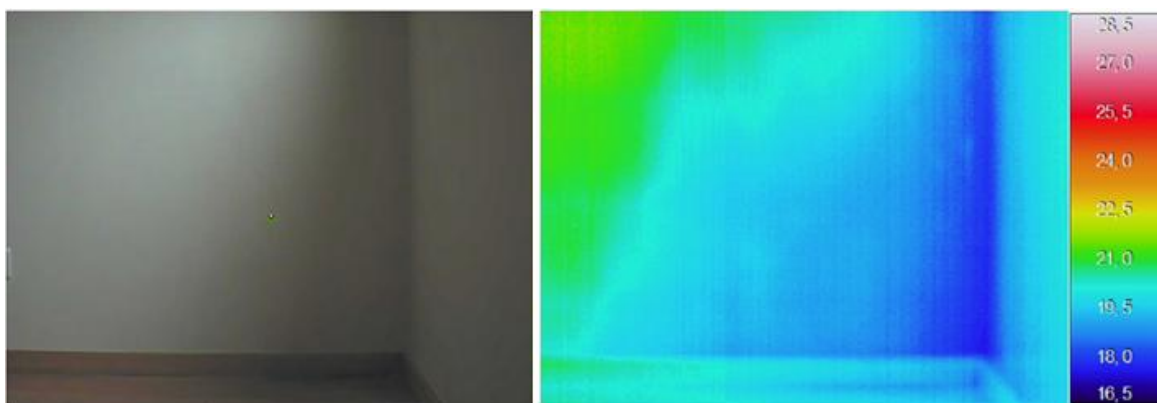


Figura C.32 – Fotografia e termograma

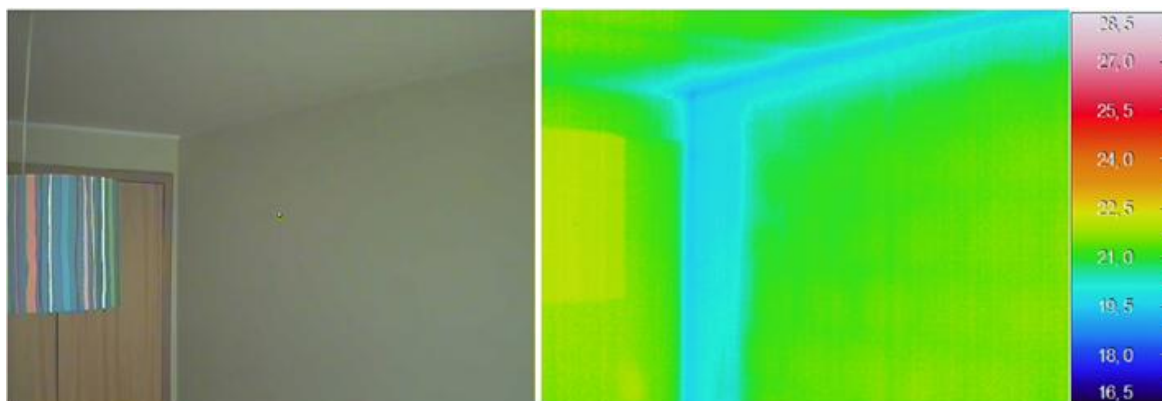


Figura C.33 – Fotografia e termograma

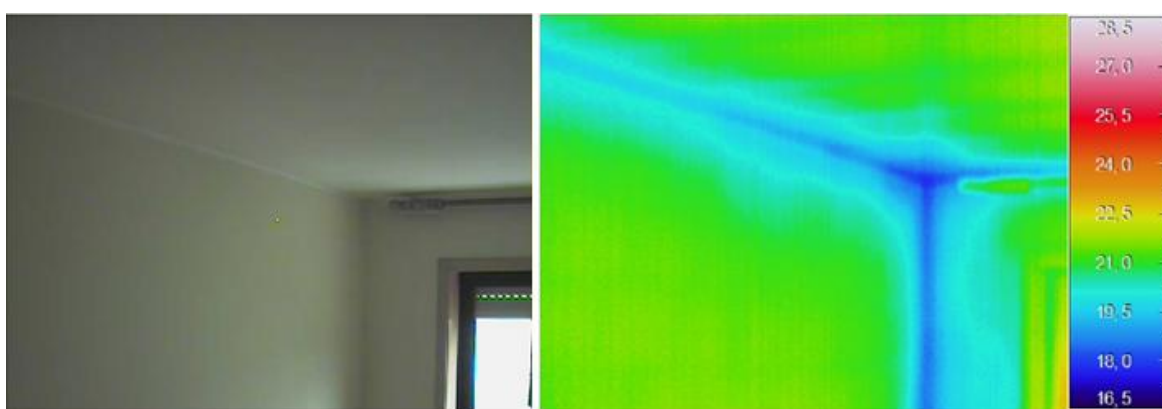


Figura C.34 – Fotografia e termograma

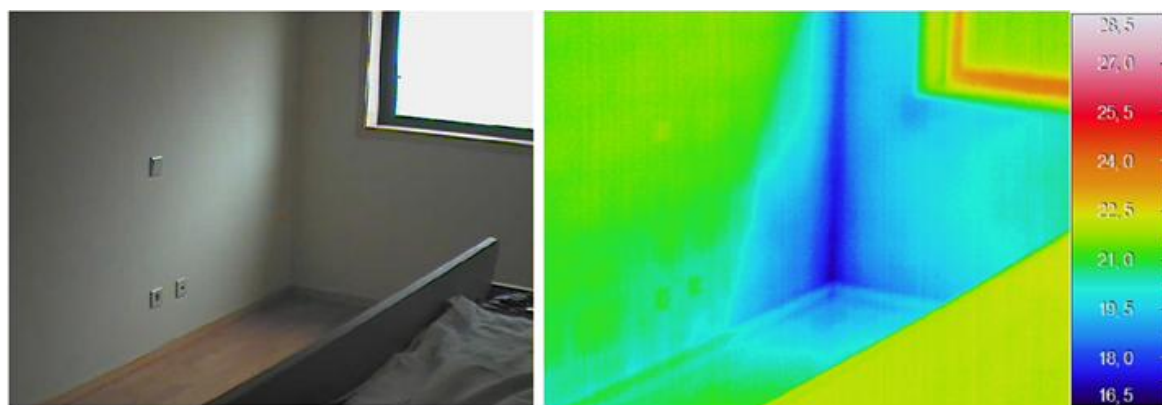


Figura C.35 – Fotografia e termograma